



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO
PAVIMENTO POLIÉDRICO EM RODOVIAS RURAIS**

Lucas Adrian Hachmann

Florianópolis, novembro, 2018.

Lucas Adrian Hachmann

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PAVIMENTO
POLIÉDRICO EM RODOVIAS RURAIS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito parcial
para obtenção do diploma de graduação do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Liseane Padilha Thives, Dr^a.

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Lucas Adrian Hachmann

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PAVIMENTO
POLIÉDRICO EM RODOVIAS RURAIS**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado para a obtenção do diploma de graduação em Bacharel em Engenharia Civil junto à Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 29 de Novembro de 2018.



Professora Liseane Padilha Thives, Dr^a.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Apresentado para a banca examinadora composta por:

Professora Gracilei Dienstmann, Dr^a.

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng^a. Kátia Aline Bohn, MSc.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dr. Liseane Padilha Thives, de quem tive todo apoio e orientação para a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos bolsistas e mestrandos do Laboratório de Mecânica dos Solos da ECV/UFSC, Vinicius, Cândida, Nara e Jaciara, pela participação dedicada no repassamento dos conhecimentos necessários para a execução dos ensaios desta pesquisa.

Ao Engenheiro Levi, que com seu conhecimento prático e entusiasmo inabalável, contribuiu muito com suas sugestões.

Aos meus pais, figuras insubstituíveis nesse processo, por cada palavra de amor, de incentivo, por toda a dedicação, por entender a distância, por ser meu porto seguro. Agradeço por sonharem os meus sonhos.

*“... não há saber mais ou saber menos, há
saberes diferentes”.*

(Paulo Freire)

RESUMO

As primeiras estradas pavimentadas datam cerca de mais de dois séculos A.C., cujo revestimento era constituído de pedras irregulares. Posteriormente, nas rodovias modernas os revestimentos de pedras foram substituídos por materiais asfálticos e de concreto de cimento Portland e o uso de pedras entrou em declínio. Apesar da crescente perda de espaço em relação aos demais revestimentos usados em rodovias pavimentadas, sua aplicação ainda é comum em vias de pequenas cidades ou de regiões periféricas de cidades. Neste cenário, estão inseridas rodovias vicinais pavimentadas no Estado do Paraná, localizado no sul do Brasil. Este trabalho disserta sobre um estudo de caso no qual a rodovia foi pavimentada em pedras intertravadas (alvenaria poliédrica). Foi realizado o dimensionamento do pavimento intertravado utilizando alvenaria poliédrica por três métodos distintos a fim encontrar o mais viável técnica e economicamente. Assim, o trecho escolhido pertence a uma rodovia municipal localizada na cidade de Marechal Cândido Rondon (Paraná). Inicialmente foi realizada uma revisão da literatura acerca dos tipos de pavimentos intertravados em especial sobre as particularidades do pavimento poliédrico de pedras. O estado da arte contemplou também o levantamento das principais técnicas e fatores que influenciam a caracterização do material constituinte do subleito e sobre o dimensionamento de pavimentos flexíveis. A partir do local de estudo, a metodologia conduzida em laboratório utilizada abrangeu a caracterização do solo utilizado como subleito. Foi realizada a coleta dos dados de tráfego e realizado o registro fotográfico da região. O método de dimensionamento utilizado foi baseado em normativas brasileiras. A partir dos dois projetos propostos, foi realizado o orçamento e posterior estudo comparativo. Foram identificadas as características intrínsecas de cada alternativa com o objetivo de identificar sua viabilidade técnica e econômica, propondo o melhor método aplicável para a via em estudo. Como resultado, o uso de pavimentos em alvenaria poliédrica se apresenta como uma adequada alternativa para uso em rodovias vicinais, contanto que sejam conduzidos procedimentos de avaliação dos materiais constituintes e realizado um dimensionamento adequado da estrutura. Ainda, o estudo conduzido mostrou ser possível o uso de materiais regionais para melhoria das estradas brasileiras.

Palavras-chave: Dimensionamento de pavimentos. Alvenaria poliédrica. Pavimento intertravado. Pavimentação. Viabilidade econômica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caminho Romano.....	19
Figura 2 – Pavimento Romano.....	20
Figura 3 – Estrutura do pavimento intetravado (Fonte: Adaptado de Burak, 2002).....	23
Figura 4 - Cordão Lateral(Fonte: Autor, 2018).....	25
Figura 5 - Efeito da espessura da camada de areia de assentamento no desempenho do pavimento.....	26
Figura 6- Gráfico de Plasticidade (Fonte: ASTM, 1990).....	35
Figura 7– Espessura necessária de sub-base (Fonte: Carvalho, 1998).....	39
Figura 8– Espessura da base cimentada (Fonte: PMSP 2004).....	40
Figura 9 - Espessura para a base puramente granular (H_{BG}).....	42
Figura 10 – Fluxograma do método (Fonte: Autor, 2018).....	44
Figura 11 - Localização geográfica do estudo de caso.....	45
Figura 12 – Mapa Geológico de Marechal Cândido Rondon.....	46
Figura 13 - Secagem e destorroamento do solo	47
Figura 14 – Aplicação de vácuo na amostra, ensaio de massa específica.....	49
Figura 15- Aparelho de Casagrande utilizado para a determinação do Limite de Liquidez	50
Figura 16 - Prensa Mecânica Para Ensaio CBR (Fonte: Autor, 2018).....	52
Figura 17 – Ficha utilizada para determinação do Volume de Tráfego	53
Figura 18 - Limite de Liquidez	55
Figura 19 – Resultados do Ensaio de Compactação	57
Figura 20 – Curva Pressão Penetração (CBR)	58
Figura 21 - Classificação e parâmetros de tráfego no trecho estudado.	60
Figura 22 – Cooperativa de sementes localizada ao longo da via.....	61
Figura 23 – Veículos pesados observado durante o levantamento de tráfego	62
Figura 24 – Estrutura final, Procedimento A (PMSP)	65
Figura 25 – Estrutura final do pavimento, procedimento B (PMSP).....	65
Figura 26 – Estrutura final do pavimento pelo método de Peltier	67
Figura 27 – Registro fotográfico do trecho estudado em elevação inferior das áreas adjacentes	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição granulométrica recomendada para o material de assentamento	26
Tabela 2 - Classificação de solos AASHTO (Fonte: Senço, 2001).	32
Tabela 3: Classificação da Via Segundo o Tráfego (Fonte: PMSP, 2004)	38
Tabela 4 - Classificação dos solos de acordo com sua granulometria	54
Tabela 5 - Granulometria, frações distribuídas	49
Tabela 6 - Dados do Ensaio de Limite de Liquidez	55
Tabela 7 – Limite de Plasticidade	56
Tabela 8 – Determinação do Índice de Grupo.....	56
Tabela 9 – Classificação do solo estudado	56
Tabela 10 – Resultado do Ensaio de Penetração	59
Tabela 11 – Volume de tráfego médio diário no trecho estudado	59
Tabela 12 – Volume dos materiais das camadas do pavimento – Procedimento A.....	69
Tabela 13 - Volume dos materiais das camadas do pavimento – Procedimento B.....	68
Tabela 14 – Orçamento “Procedimento A”	70
Tabela 15 – Orçamento “Procedimento B”	71
Tabela 16 – Comparação de custos entre os modelos propostos	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

BCA - *British Cement Association*

BDI - Bonificação de Despesas Indiretas

BGS – Brita Graduada Simples

CBR – *California Bearing Ratio*

CBR – Índice Suporte Califórnia

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

DER-PR - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná

DMT – Distância Média de Transporte

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG – Índice de Grupo

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira

PCA – *Portland Cement Association*

SICRO - Sistema de Custos Rodoviários

Sinapi - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

USACE – *United States Army Corps of Engineers*

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.1.3	Estrutura e organização do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	PAVIMENTAÇÃO	19
2.1.1	Breve Histórico.....	19
2.1.1.1	Tipos de Pavimentos.....	21
2.2	PAVIMENTO EM ALVENARIA POLIÉDRICA	22
2.2.1	Estrutura do Pavimento em Alvenaria Poliédrica	22
2.2.1.1	Paralelepípedos (Revestimento)	23
2.2.1.2	Guia Reta (Contenção Lateral)	24
2.2.1.3	Cordão Lateral.....	24
2.2.1.4	Camada de assentamento	25
2.2.1.5	Base e Sub-Base	26
2.2.1.6	Subleito	27
2.3	ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	28
2.3.1	Ensaio de Compactação.....	28
2.3.2	Índice de Suporte Califórnia	29
2.3.3	Limites de Atterberg.....	29
2.3.3.1	Limites de Liquidez	29
2.3.3.2	Limite de Plasticidade	30
2.3.4	Índice de Grupo	30
2.3.5	Sistemas de Classificação do Solo	30
2.3.5.1	Sistema de classificação AASHTO.....	31

2.3.5.2	Sistema Unificado de Classificação dos Solos	32
2.4	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	35
2.4.1	Carga Transmitida ao Terreno.....	36
2.4.2	Cálculo da Espessura do Pavimento.....	36
2.4.2.1	Estudos de Raymond Peltier	36
2.4.2.2	Método da PMSP	37
2.4.2.2.1	Procedimento A.....	38
2.4.2.2.2	Procedimento B.....	41
3	MATERIAISE MÉTODOS	43
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	44
3.2	MATERIAIS	46
3.2.1	Rocha.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	Solo	47
3.3	MÉTODOS	48
3.3.1	Análise Granulométrica	48
3.3.2	Limites de Atterberg.....	50
3.3.2.1	Limite de Liquidez	50
3.3.2.2	Limite de Plasticidade	51
3.3.3	Índice de Grupo	51
3.3.4	Ensaio de Compactação.....	51
3.3.5	Índice de Suporte Califórnia.....	51
3.3.6	Volume de Tráfego.....	52
4	RESULTADO.....	54
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	54
4.1.1	Análise Granulométrica	54
4.1.2	Limite de Liquidez	55
4.1.3	Limite de Plasticidade.....	55
4.1.4	Índice de Grupo.....	56

4.1.5	Classificação do Solo	56
4.1.6	Ensaio de Compactação	57
4.1.7	Índice de Suporte Califórnia	58
4.2	LEVANTAMENTO DE TRÁFEGO E CLASSIFICAÇÃO DA VIA.....	59
	Fonte: Autor (2018)	62
4.3	DIMENSIONAMENTO	63
4.3.1	Subleito.....	63
4.3.2	Revestimento.....	63
4.3.3	Camada de Assentamento	63
4.3.4	Procedimento A (PMSP)	64
4.3.5	Procedimento B (PMSP).....	65
4.3.6	Dimensionamento por Peltier	66
4.4	ORÇAMENTAÇÃO	68
4.4.1	Quantidades	68
4.4.2	Custos	69
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
5	CONCLUSÃO.....	Error! Bookmark not defined.
	REFERÊNCIAS.....	76
	ANEXOS	Error! Bookmark not defined.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país cujo meio de transporte mais utilizado, tanto para cargas quanto para passageiros, é o rodoviário. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária este modo de transporte representa 61,1% da matriz viária brasileira (EMBRAPA, 2018). A Confederação Nacional do Transporte identificou que a maior parte da malha rodoviária brasileira pavimentada tem como revestimento as misturas asfálticas, especialmente aquelas com elevado volume de tráfego (CNT, 2018).

Considerando o estado precário em que se encontra a malha rodoviária brasileira, sendo 57% considerada em estado regular a péssimo CNT (2018) e o crescente volume de tráfego, alternativas devem ser ponderadas. Como exemplo, pode-se citar o uso de revestimentos em concreto de cimento Portland e de misturas asfálticas modificadas por polímeros ou outros agentes modificadores utilizados para promover o aumento da resistência mecânica.

Apesar destas alternativas, por vezes eficazes, o Brasil, grande produtor rural, enfrenta problemas durante o escoamento da safra, em geral realizado em regiões periféricas, nas quais os investimentos em infraestrutura rodoviária são escassos.

Neste sentido, a preferência por pavimentos asfálticos ou de concreto Portland, em detrimento aos pavimentos em alvenaria polidétrica, por exemplo, se justificam em áreas ou regiões com índices de crescimento e industrialização, altas concentrações urbanas, na execução de longas rodovias. Pode-se citar ainda, em casos de revestimentos que necessitem uma menor irregularidade superficial e consequente, maior conforto. Os revestimentos em misturas asfálticas a quente necessitam de mecanização do processo de produção, muitas vezes indisponíveis em regiões interiores. Neste caso, a consideração de materiais existentes nas regiões se mostra como uma boa alternativa.

Neste contexto, este estudo busca romper o paradigma de que o pavimento só pode ser asfáltico ou de concreto. O alto custo de implantação e conservação destes tipos de pavimento em rodovias com baixo volume de tráfego, muitas vezes inviabiliza sua aplicação.

Neste sentido, a pavimentação por paralelepípedos e alvenaria polidétrica assume suma importância e se presta favoravelmente à sua utilização como revestimento, pois, não exige altos investimentos, como os necessários à preparação da infraestrutura para execução de uma pavimentação asfáltica, dispensa uma sequência complexa de etapas, como para a execução de uma pavimentação asfáltica ou de concreto, aproveita grande

parte da mão de obra não especializada local, ociosa, e contém a evasão de recursos humanos e financeiros oferecendo maiores alternativas econômicas locais.

Na atual conjuntura sócio-político-econômica do país, verifica-se alta disponibilidade do fator trabalho, em contrapartida à escassez do fator capital. Neste sentido, justifica-se a adoção de métodos construtivos que adotem mais mão de obra em detrimento de materiais de alto valor agregado como os derivados do petróleo.

O pavimento poliédrico tem inúmeras vantagens, contudo, a camada de rolamento composta pela alvenaria poliédrica não atua de forma isolada quanto à distribuição das cargas de tráfego e atuação das intempéries. Desta forma, é de fundamental importância dimensionar de forma adequada as camadas que suportarão as cargas provenientes do tráfego, para se obter como resultado um pavimento adequado ao uso final.

Através do acompanhamento da vida de projeto de vias rurais pavimentadas com blocos em alvenaria poliédrica, observou-se que em determinadas vias, há durabilidade e em outras a vida de projeto é atingida prematuramente, o que necessita ser investigado. A viabilidade de aplicação deste revestimento, considerando a economia e disponibilidade de material e, com o objetivo de contribuir a partir de uma análise econômica e de dimensionamento adequado, motivou o desenvolvimento deste trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar uma estrutura de pavimento poliédrico intertravado para as condições de tráfego de uma rodovia, a partir da análise das condições locais de tráfego e da ocorrência de materiais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- Estudar o tráfego presente na via a ser estudada, para fins de determinação do número de operações do eixo padrão (N) na estrutura do pavimento local;
- Realizar estudos de caracterização geotécnica do subleito existente;
- Dimensionar a estrutura de pavimento, tendo como referência as metodologias adotadas no Brasil, para soluções de pavimentação intertravada;

- Comparar os custos atrelados a solução proposta e a solução adotada;

1.1.3 Estrutura e organização do trabalho

A estrutura deste trabalho é composta por cinco capítulos. Os conteúdos de cada capítulo, que sequenciam o Capítulo 1, Introdução, são resumidos a seguir.

No Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, é apresentado o referencial teórico dos conceitos de pavimentação intertravada e de alvenaria poliédrica, foram abordadas as camadas e os métodos pertinentes ao dimensionamento do pavimento. Abordam-se também os estudos geotécnicos que são necessários para uma boa concepção de projeto.

O Capítulo 3 discorre sobre os materiais e métodos utilizados, abordando os estudos realizados na rodovia, apresentando os ensaios executados para a caracterização e verificação dos dados pertinentes ao solo natural local, além do levantamento de dados necessários ao dimensionamento.

No Capítulo 4, Resultados, são apresentados e discutidos os ensaios realizados, como de caracterização do solo, e também estudos de tráfego, classificação da via e dimensionamento do pavimento. Este capítulo contempla ainda uma análise técnica financeira das opções de dimensionamento para obter a opção adequada de estrutura do pavimento poliédrico para a via em estudo.

O Capítulo 5, Considerações Finais, apresenta as conclusões referentes às análises e pesquisas realizadas durante o trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTAÇÃO

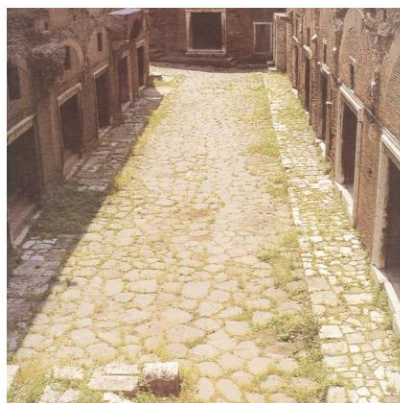
Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre o subleito, que é considerado um semi-espaço teoricamente infinito. O pavimento é designado a resistir aos esforços horizontais de desgaste, melhorar o conforto e segurança de rolamento para o usuário e sobretudo resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego e distribuí-los (SENÇO, 2007).

2.1.1 Breve Histórico

Madrid (1985) comenta que o desenvolvimento das estradas, à época, denominadas caminhos, e seu aperfeiçoamento surgiram da necessidade da humanidade em obter melhor acessos às áreas cultiváveis, às fontes de matéria-prima e também do desejo de expandir sua área de influência. O autor relata ainda que a os primeiros pavimentos com superfície durável se deu há aproximadamente 25 séculos atrás com a cobertura do terreno com a colocação de pedras em estado natural, em forma de revestimento.

De acordo com Balbo (2007), foram os romanos que aperfeiçoaram as estradas através da instalação de pavimentos e drenagem, com o intuito de torná-las mais duradouras, destacando-se entre as diversas estradas romanas a Via Appia, por ser uma das primeiras a merecer atenção técnica quanto à pavimentação. A Figura 1 ilustra um trecho da Via Appia cujo pavimento foi revestido com pedras poligonais.

Figura 1 - Caminho Romano.

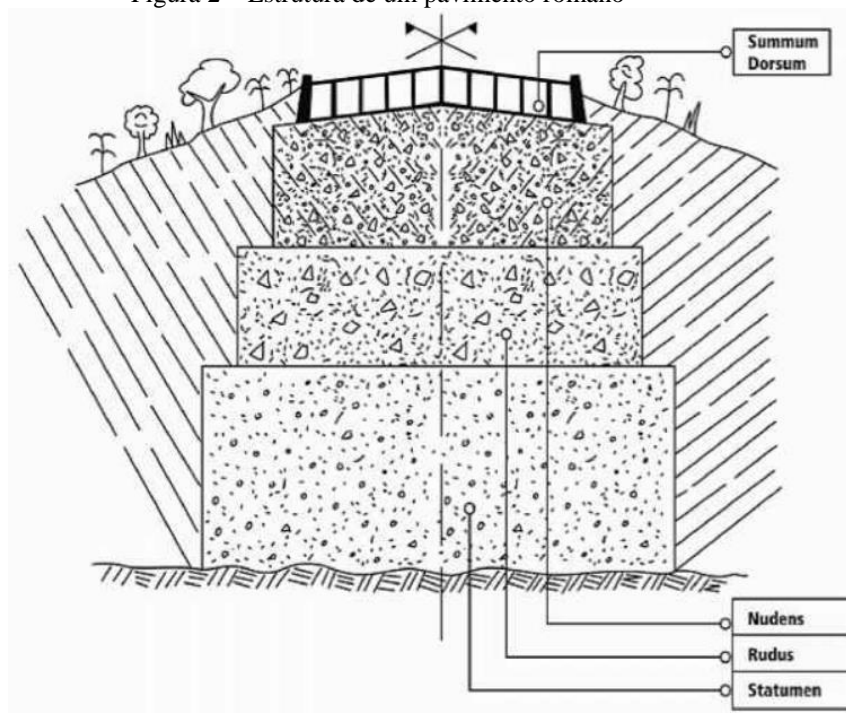


Fonte: ABCP (2001)

O emprego deste tipo de pavimentação surgiu da necessidade das antigas civilizações de manterem abertos seus canais de ligação, com seus territórios conquistados, principalmente, o Império Romano. Assim, iniciaram-se as construções ou aproveitamentos de estradas já existentes, com o assentamento nestas de pedras irregulares ou aparelhadas, assentadas sobre camadas intermediárias de distribuição de carga e rejuntadas com argila ou um tipo de cimento natural usado na época (CODCBR, 1986).

Knapton (1996) destaca algumas peculiaridades inerentes aos pavimentos romanos. De acordo com o autor, uma característica das estradas romanas foi o uso de aterro que era construído com materiais escavados de valas paralelas à estrada. Na camada superior do aterro, grandes pedras de fundação com dimensões típicas de $60 \times 40 \times 20 \text{ cm}^3$ (condição proveniente da pedra) eram depositadas e arrumadas, numa espécie de sub-base. Posteriormente, pedras britadas graúdas ou cascalho eram colocados e compactados sobre as pedras de fundação e pedras mais longas eram depositadas na parte lateral para contenção (das pedras britadas ou cascalho). Finalmente, a superfície da estrada era finalizada com pedras de menores dimensões. Senço (2008) explica que o pavimento romano era projetado e, construído em camadas com materiais que equivalem, estruturalmente, aos materiais dos pavimentos atuais. A Figura 2 ilustra uma estrutura típica de um pavimento romano de quatro camadas.

Figura 2 – Estrutura de um pavimento romano



Fonte: Senço (2008)

As camadas componentes da estrutura ilustrada na Figura 2, são compostas por:

- *Statumen* – primeira camada assente em terra firme (solo de fundação);
- *Rudus ou ruderatio* – camada composta por uma composição de pedaços de louça, telhas ou tijolo aderentes com argamassa ou betume;
- *Nudens ou nucleos* – terceira camada composta por cal e areia;
- *Summum dorsum ou summa* – última camada que consistia em pedras trabalhadas e colocadas de maneira a tornar o trajeto mais cômodo e durável.

Dowson (2009) atribui aos romanos o desenvolvimento do sistema com a instalação das pedras de revestimento travadas em conjunto com material fino, sistema esse que precedeu muitos dos atuais princípios da tecnologia de pavimentação de blocos. A integridade superficial dependia do intertravamento, ou seja, a impossibilidade de uma pedra individual mover-se isoladamente de seus vizinhos quando solicitada pelo tráfego.

No Brasil, a primeira estrada em que foi utilizada uma pavimentação semelhante foi a “Estrada União e Indústria”, inaugurada em 1891, que ligava Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG) e foi um marco na história das rodovias brasileiras, com 140 km de extensão (CODCBR, 1986).

No âmbito restrito da pavimentação em pedra, as pistas evoluíram das grandes lajes para o emprego de pedras menores. Essa alteração foi devido à evolução de todos os sistemas de pavimentação, na necessidade de melhoria das condições de rodagem, associada às buscas de facilidades de construção. O transtorno do transporte e assentamento de grandes pedras fez com que se procurasse desenvolver novas técnicas, visando à utilização de pedras menores (CODCBR, 1986). A solução foi o emprego de pedras de tamanho médio e aparelhadas, o que permitia facilidades de transporte e de assentamento, além de grande estabilidade na formação. Essas pedras, os paralelepípedos, passaram a ter grande preferência sobre as demais, tendo este sistema evoluído com o passar do tempo, criando-se o que se denomina de Pavimentação por Paralelepípedo e Alvenaria Poliédrica.

2.1.1. Tipos de Pavimentos

Os pavimentos rodoviários modernos são classificados de acordo com a rigidez de sua estrutura em: flexíveis, semirrígidos e rígidos. Os pavimentos flexíveis são aqueles que sofrem uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas quando submetido a um

esforço. Os pavimentos semirrígidos se caracterizam por uma base constituída de algum aglomerante cimentício, criando uma camada rígida, revestida com uma camada asfáltica. Os pavimentos chamados de rígidos são compostos por uma placa de concreto de cimento Portland, armadas ou não, sobreposta a uma camada de sub-base. Os pavimentos rígidos se caracterizam por ter uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo quase todas as tensões provenientes dos esforços aplicados (DNIT, 2006).

Pavimentos flexíveis são aqueles constituídos por camadas granulares e revestimento em mistura asfáltica. A capacidade de suporte é função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas (granulares e de solos), onde aquelas com maior rigidez encontram-se mais próximas da carga aplicada (DNIT, 2006). Este tipo engloba ainda os pavimentos com revestimento de blocos intertravados de concreto de cimento Portland (*pavers*) com rejunte de areia e o pavimento de alvenaria poliédrica.

2.2 PAVIMENTO EM ALVENARIA POLIÉDRICA

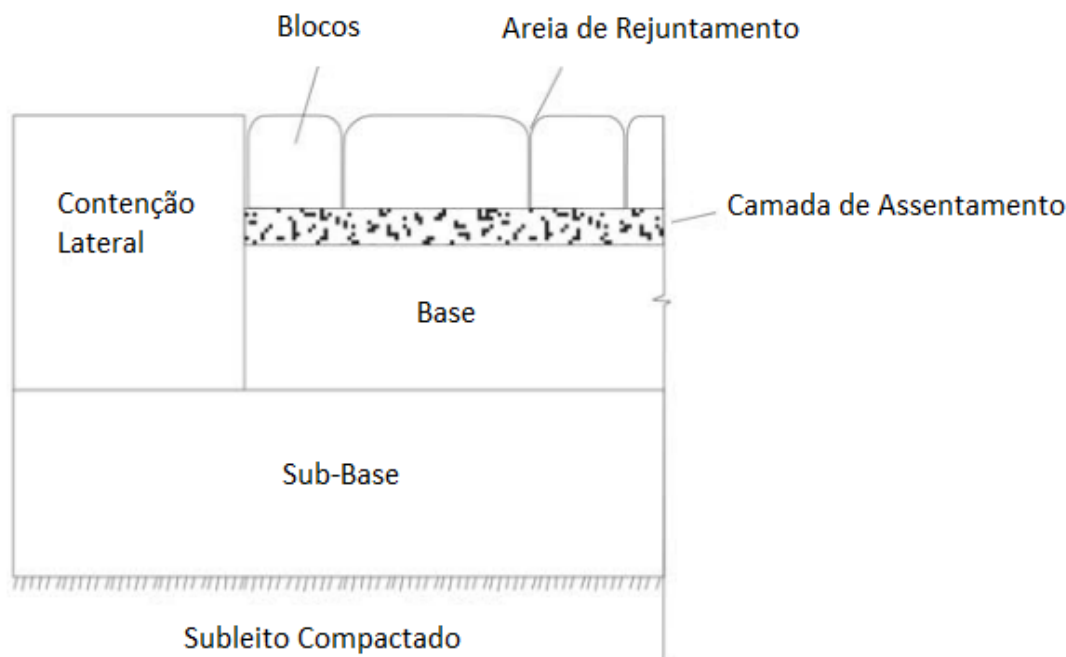
Segundo Senço (2007), o pavimento em alvenaria poliédrica representa um revestimento de extraordinária durabilidade, podendo, inclusive, ser reaproveitados com mudanças da face expostas ao rolamento.

2.2.1 Estrutura do Pavimento em Alvenaria Poliédrica

De acordo com o Manual de Utilização de Paralelepípedos e Alvenaria Poliédrica (Mineropar, 1983), o pavimento de alvenaria poliédrica se caracteriza por um pavimento flexível composto por um revestimento de pedras irregulares, assentadas por processo manual, justapostas, rejuntadas com areia, betume, argamassa de cimento-areia ou mistura de agregado e argila, assentados sobre um colchão de areia ou a uma base de solo estabilizado.

Segundo Burak (2002), o projeto de base e sub-base é determinado pela severidade das cargas aplicadas. Muitos pavimentos para usos da cidade não requerem uma sub-base agregada, exceto para uso muito pesado, ou sobre um subleito de solo fraco. Nessas situações, pode ser mais econômico usar camadas de base estabilizadas de asfalto ou cimento. A Figura 3 apresenta um exemplo da estrutura de um pavimento intertravado.

Figura 3 – Estrutura do pavimento intetravado



Fonte: Adaptado de Burak (2002)

2.2.1.1 Paralelepípedos (Revestimento)

O paralelepípedo ou pedra irregular, como o próprio nome indica, não apresenta uma forma constante e, portanto, só se pretende, em cada tipo de jazida, limitar o campo de variação, de maneira que no seu conjunto, a superfície pavimentada apresente certa homogeneidade.

As pedras irregulares empregadas devem possuir faces planas, sem saliências e reentrâncias acentuadas, principalmente na face que irá constituir a superfície do pavimento. Além disso, as dimensões da face inferior não devem diferir em mais de 2 cm da face superior. As dimensões irregulares são variadas, dependendo da natureza da rocha e do local de extração. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 1981), orienta que as pedras amarradas manualmente, deverão ter a face que se destina ao rolamento plana, com uma dimensão tal que se inscrevam num círculo de diâmetro entre 0,10 m e 0,20m, enquanto que a altura poderá variar entre 0,10 m e 0,15 m.

Para a extração do paralelepípedo, devem ser utilizadas rochas sãs, homogêneas, sem fendilhamento e sem alteração, além de apresentar condições satisfatórias de dureza e tenacidade. De acordo com o Departamento Estadual de Infraestrutura do estado de Santa Catarina (DEINFRA) (DER, 1981) os materiais empregados devem apresentar as seguintes condições de dureza e tenacidade:

- Resistência à compressão simples: maior que 100 kg/cm²;
- Peso específico aparente: mínimo de 2.400 kg/m³;
- Absorção de água após 48 horas de imersão: menor que 0,5%, em peso.

2.2.1.2 Guia Reta (Contenção Lateral)

Uma guia reta é uma peça prismática maior, de seção retangular ou trapezoidal, destinada a limitar a pista pavimentada, proteger o calçamento e principalmente evitar deslocamento dos paralelepípedos. Segundo o DEINFRA as dimensões das peças usadas nesta etapa devem ter em média as seguintes dimensões (DER, 1981):

- Largura: 12 cm;
- Comprimento: 50 cm;
- Altura: 30 cm.

Deve-se ressaltar que estas são as medidas recomendadas pelo DEINFRA e desta forma, as medidas das pedras utilizadas como guia reta, poderão ser adaptadas para cada região. Na impossibilidade da obtenção da pedra nas medidas recomendadas, outros padrões poderão ser adotados, desde que tenham sua eficiência comprovada em experiências anteriores, para que atendam a funcionalidade do intertravamento e contenção lateral.

2.2.1.3 Cordão Lateral

Cordão lateral (Figura 4) é o conjunto de guias retas, assentadas e alinhadas ao longo das bordas da pista, mas enterradas, de forma que a face superior fique no nível da pista acabada. Com a finalidade de proteger os bordos do pavimento ou amarrar (fixar) determinadas seções do mesmo.

Figura 4 – Exemplo de um Cordão Lateral



Fonte: Autor (2018)

2.2.1.4 Camada de assentamento

Os blocos devem estar sobrepostos em uma camada de assentamento que é responsável por fornecer regularidade final ao pavimento, acomodando, quando necessário, as possíveis variações dimensionais da altura dos blocos e irregularidades da camada de base (BEATY, 1996).

Esta camada também faz a ligação entre os blocos e a base do pavimento, atuando como uma barreira de proteção à propagação de fissuras às camadas inferiores do pavimento (SHACKEL, 1990).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010), a camada de assentamento é composta de material granular específico (areia média, geralmente), limpo e seco.

A experiência no Estado do Paraná na execução de pavimentos poliédricos, tem demonstrado que podem ser utilizados com sucesso outros materiais para a camada de assentamento. Como exemplo, têm-se o uso de argilas laterizadas do Terceiro Planalto, os solos arenosos oriundos das formações Furnas, Itararé, Botucatu e Caiuá, além dos saibros de

quartzitos e granitos, areias aluvionares. São aplicados ainda subprodutos de britagem (pó de pedra e pedrisco) (MINEROPAR, 1983).

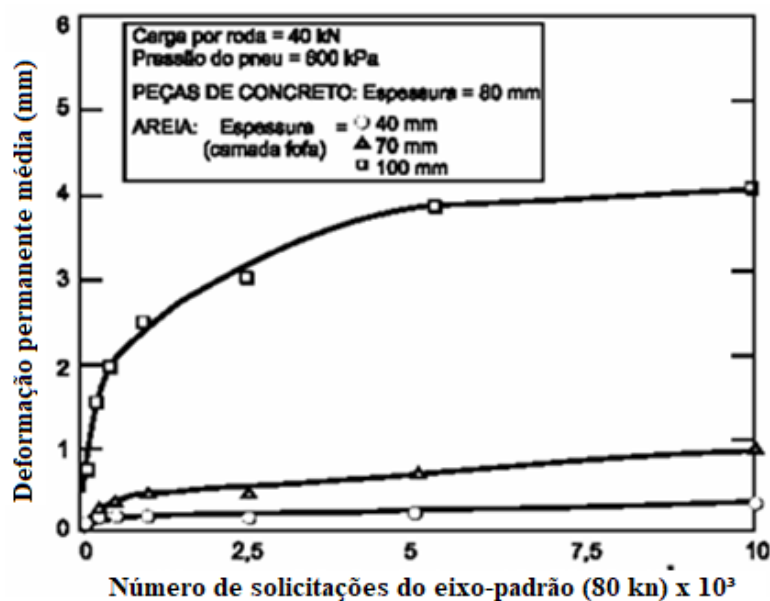
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2011), recomenda que a distribuição granulométrica para a camada de assentamento siga a granulometria exposta na Tabela 1.

Abertura da peneira (mm)	Porcentagem retida, em massa (%)
6,3	0 a 7
4,75	0 a 10
2,36	0 a 25
1,18	5 a 50
0,6	15 a 70
0,3	50 a 95
0,15	85 a 100
0,075	90 a 100

Fonte: ABNT (2011)

A Figura 5 mostra a deformação permanente em pavimentos de peças pré-moldadas de concreto com diferentes espessuras da camada de assentamento, em um experimento de Shackel (1990). Pode-se observar que, para espessuras muito elevadas da camada de assentamento podem levar a uma excessiva deformação permanente do pavimento.

Figura 5 – Efeito da espessura da camada de assentamento no desempenho do pavimento



Fonte: Adaptado de Shackel (1990)

2.2.1.5 Base e Sub-Base

A base é a principal componente estrutural de um pavimento. A ela cabe receber e distribuir as tensões provenientes das solicitações externas e transmiti-las com intensidade significativamente menor às camadas subjacentes, evitando as deformações permanentes e a deteriorização do pavimento (CRUZ, 2003).

Segundo a ABNT NBR 15953 (2011) “a camada de sub-base ou de base pode ser constituída de materiais pétreos (agregados industriais, agregados reciclados, cascalho) ou misturas estabilizadas com cimento”.

SHACKEL (1990) afirma que o dimensionamento poderá requerer, ainda, uma camada de sub-base, suplementar à base, executada diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço de subleito. A presença dessa camada depende da magnitude das cargas geradas pelo tráfego e do dimensionamento adotado pelo projetista. Godinho (2009) complementa que a sub-base pode ter a mesma função da base, sendo utilizada em casos onde a magnitude da carga solicitante é mais elevada.

2.2.1.6 Subleito

Subleito pode ser entendido como o solo natural da intervenção, podendo ser considerado a fundação do pavimento. De acordo com Senço (2007), apenas a camada próxima da superfície é considerada subleito, pelo fato que as pressões exercidas são consideradas desprezíveis com o aumento da profundidade. As normatizações e métodos de dimensionamento definem a necessidade de obtenção de parâmetros de suporte e expansão do solo do subleito. No Brasil o método mais utilizado para encontrar tais parâmetros é o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR).

Burak (2002) afirma que a compactação do solo do subleito é crucial para o desempenho dos pavimentos intertravados e que a compactação adequada tem como objetivo minimizar recalques. O subleito pode ser constituído de solo natural do local ou proveniente de empréstimo. No entanto deve cumprir as especificações prescritas em norma (ABNT NBR 12307 – Regularização do Subleito, 1991), além de atender os seguintes requisitos mínimos:

- O material do subleito deve apresentar CBR maior que 2% e expansão volumétrica menor ou igual a 2%;
- Toda a camada de subleito deve estar limpa, sem a presença de plantas, raízes e qualquer tipo de matéria orgânica;
- A camada de subleito deve estar bem drenada, mantendo o lençol freático rebaixado no mínimo 1,5 m da cota final de superfície do pavimento acabado;

- A camada final do subleito deve apresentar a cota definida no projeto e ter os mesmos caimentos da camada de revestimento do pavimento pronto, sendo recomendado o caimento mínimo de 2%, salvo condição específica de projeto.

2.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Senço (2007) afirma que a construção de um pavimento exige o conhecimento dos materiais constituintes de suas camadas, entre estes materiais destaca-se o solo, pois mesmo não sendo eventualmente utilizado em alguma camada do pavimento, será sempre o suporte da estrutura. A seguir são apresentados os ensaios comumente utilizados.

2.3.1 Ensaio de Compactação

A compactação do solo tem como objetivo o aumento da massa específica aparente de um solo. A ação mecânica faz com que as partículas tenham um maior contato entre si, aumentando a massa específica devido à redução dos vazios do material (DNIT, 2006).

Preussler (2007) complementa que além do aumento da redução de vazios e aumento da massa específica, a compactação reduz a permeabilidade e a compressibilidade, proporcionando um aumento da resistência de cisalhamento do solo.

Visando a melhoria da compactação do solo, Ralph Proctor desenvolveu em 1933, uma metodologia para medir a capacidade de compactação de um solo conforme sua variação de umidade. Esta metodologia foi normatizada nos Estados Unidos pela *American Association of State Highway Officials* (AASHTO).

O ensaio consiste em compactar um o solo em um cilindro padronizado com volume conhecido, variando-se o teor em água. No ensaio são medidos o teor de umidade e a massa específica. Com os dados do ensaio é traçada a curva de compactação para determinação da massa específica aparente seca máxima, a qual corresponde um determinado teor de umidade, denominado de ótimo.

2.3.2 Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia, com abreviatura em português de ISC, e CBR (*California Bearing Ratio*), em inglês, é um índice utilizado para medir a resistência pós-compactação dos solos e avaliar o potencial de ruptura do subleito. A determinação de seu valor tem como objetivo avaliar a resistência do material e é usado como parâmetro de capacidade de suporte dos solos nos métodos de dimensionamento de pavimentos. Durante a determinação do CBR é ainda determinada a expansão do solo, que representa o aumento do volume do material quando entra em contato com a água (BERNUCCI et al., 2008).

Senço (1997) completa que no método CBR a resistência do subleito é dada em porcentagem obtida num ensaio de laboratório em que se mede a resistência à penetração de um pistão numa amostra do solo do subleito, relacionando essa resistência à penetração, com a resistência oferecida por um material considerado padrão, ao qual se atribui um CBR igual a 100%. No método de ensaio preconizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) a resistência é a média aritmética entre o CBR e outro índice, derivado do Índice de Grupo, que é função dos resultados dos ensaios de caracterização do solo do subleito.

2.3.3 Limites de Atterberg

Segundo Pinto (2006) a contribuição fina dos solos tem importância muito grande ao qualificar um solo para pavimentação. Os Limites de Atterberg se baseiam na constatação de que um solo argiloso possui desempenho com aspectos bem distintos, segundo o seu teor de umidade. Barners (2016) constatou que um solo fino, ao estar muito umido se comporta como um líquido; ao perder uma porcentagem de água se torna plástico, e estando mais seco, se torna quebradiço.

2.3.3.1 Limites de Liquidez

O limite de liquidez representa a fronteira entre o estado plástico do solo e o seu estado líquido. O ensaio para a determinação do limite de liquidez permite obter a porcentagem de água acima do qual o solo perde as características de plasticidade, passando a se comportar como um fluido viscoso (NBR 6459 1984).

Segundo Caputo (1988) o Limite de Liquidez é o valor do teor de umidade do solo com o qual “fechasse” uma ranhura, feita anteriormente, com 25 golpes, numa concha

padronizada. Várias tentativas são executadas, estando o solo em diferentes umidades, anotando-se o número de golpes para fechar a ranhura, obtendo-se o limite pela interpolação dos resultados.

2.3.3.2 Limite de Plasticidade

De acordo com Caputo (1988), o limite de plasticidade pode ser definido como o teor de umidade de um solo em que acontece a transição do estado plástico para o estado semi-sólido, passando a ter comportamento plástico, mostrando assim o quão coeso é o solo.

2.3.4 Índice de Grupo

Segundo (1996), um dos parâmetros utilizados na classificação de solos é o índice de grupo (IG). Este índice é um número que varia entre 0 (zero) e 20 (vinte) e é um dos parâmetros que indica a qualidade do solo para uso em camadas do pavimento. Os valores do IG, quanto mais próximos de 0, indicam uma qualidade superior como subleito e quanto mais próximos de 20, inferior.

2.3.5 Sistemas de Classificação do Solo

De acordo com Pinto (2006), a diversidade e a diferença de comportamento dos diversos solos perante as solicitações de interesse da Engenharia levaram ao seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades. Dessa tendência racional de organização da experiência acumulada, surgiram os sistemas de classificação dos solos.

De acordo com Das (2007), Os sistemas de classificação dos solos, criam uma linguagem comum, para que os engenheiros, técnicos e demais atores do processo, possam se expressar de maneira concisa, sem descrições detalhadas, analisando as características que são importantes para a engenharia.

Segundo Pinto (2000), a diversidade e a enorme diferença de comportamento apresentada pelos diversos solos perante as solicitações de interesse da engenharia levaram ao seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades. Desta tendência racional de organização da experiência acumulada, surgiram os sistemas de classificação.

A classificação deve permitir que, através da classe do solo, o engenheiro possa correlacionar comportamento do material em questão com o de outros solos já conhecidos podendo, desta maneira, prever o comportamento do solo na obra (SÓRIA, 1985).

Em resumo, pode se dizer que as classificações geotécnicas são muito importantes, pois agrupam solos de comportamento similar, permitem prever ou estimar o comportamento dos solos, e facilitam a comunicação entre engenheiros e técnicos.

Dentre os sistemas de classificações mais difundidas no mundo e amplamente utilizado no Brasil, estão o Sistema Unificado de Classificação de Solos (*Unified Soil Classification System* - USCS), descrito pela norma americana D2488-69 (ASTM, 1980), e a classificação para finalidades rodoviárias da AASHTO, a *Highway Research Board* (HRB), descrito pela norma, também americana, D3282-73 (ASTM, 1973).

2.3.5.1 Sistema de classificação AASHTO

Este sistema de classificação tem sido um dos mais empregados em engenharia rodoviária em todo o mundo, sendo ele adotado pela maioria dos órgãos públicos nacionais. De acordo com Das (2007), o sistema da classificação de solos da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) foi desenvolvido em 1929 como o sistema da Administração de Estradas Públicas dos Estados Unidos da América (EUA). Ele foi submetido a várias revisões, com a presente versão proposta pelo *Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads do Highway Research Board* (HRB) em 1945, e por este motivo ficou conhecido também por Classificação HRB (ABGE, 1998).

Segundo o manual do DNIT (2006), nesta classificação os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulométrica, limites de Atterberg e do índice de grupo (IG), este último índice é um número inteiro que varia entre 0 e 20 em função da porcentagem de material que passa na peneira nº 200 (0,075 mm) e dos Limites de Atterberg (LL e IP), sendo obtido através da Equação 1:

$$IG = (0,2 \times a) + (0,05 \times a \times c) + (0,01 \times b \times d) \quad (1)$$

Onde:

a = percentual de material que passa pela peneira nº200 menos 35%. Se o percentual de material passante nesta peneira for maior que 75%, “a” é adotado igual a 40% e se o percentual for menor que 35%, adota-se “a” igual a 0%;

b = percentual de material que passa pela peneira nº 200 menos 15%. Se o percentual de material passante for maior que 55%, se adota “b” igual a 40% e se esse percentual for menor que 15%, adota-se “b” igual a 0%;

c = valor do LL menos 40%. Se LL for maior que 60%, se adota “c” igual a 20% e se LL for menor que 40%, adota-se “c” igual a 0%;

d = valor do índice de plasticidade menos 10%. Se o IP for maior que 30%, se adota “d” igual a 20% e se o IP for menor que 10%, adota-se “d” igual a 0%.

Desta forma, o índice de grupo auxilia no dimensionamento das camadas do pavimento uma vez que estabelece a ordenação dos solos dentro de um grupo, conforme suas aptidões, sendo que sob adequadas condições de drenagem e compactação.

Na classificação do solo pela AASHTO (Figura 6) são usados os dados dos ensaios (granulometria, LL, IP e IG) da esquerda para a direita.

Figura 6 – Classificação de solos pela AASHTO

Classificação	MATERIAIS GRANULARES (35% ou menos) passando na peneira #200							MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS			
Classificação em grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5(a) A-7-6(b)
	A-1-A	A-1-B		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometria - % passando na peneira											
# 10	50 max										
# 40	30 max	50 max	51 max								
# 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características da fração passando na peneira # 40											
LL				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
IP	6 max	6 max	NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
IG	0	0	0	0	0	4 max	4 max	8 max	12 max	16 max	20 max
Materiais constituintes	Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia			Pedregulhos ou areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			
(a) Para A-7-5, $IP \leq LL - 30$ (b) Para A-7-6, $IP > LL - 30$											

Fonte: Senço (2001)

2.3.5.2 Sistema Unificado de Classificação dos Solos

Para Das (2007), o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) surgiu de um sistema de classificação de solos voltado para pistas de aeroportos durante a Segunda Guerra

Mundial, desenvolvido por Casagrande em 1942, o sistema passou por revisões e adaptações em 1952 e foi adotado por diversos países.

Neste sistema os solos são classificados em solos grossos, solos finos e altamente orgânicos. Para os solos grossos foram mantidas as características granulométricas como parâmetros mais representativos para sua classificação. Já para a fração fina utilizam-se os limites de consistência, por serem parâmetros mais importantes que o tamanho das partículas.

De acordo com Pinto (2006), os nomes dos grupos são simbolizados dois conjuntos de letras. A primeira letra se refere ao tipo de solo obtido durante a classificação granulométrica, sendo:

- G: Pedregulho;
- S: Areia;
- M: Silte;
- C: Argila;
- O: Orgânico.

A segunda letra se refere às características de graduação granulométrica e plasticidade, sendo:

- W: Bem Graduado;
- P: Mal Graduado;
- L: Baixa Plasticidade;
- H: Alta Plasticidade;
- Pt: Tufa.

Conforme Pinto (2000), os solos granulares são classificados como areias ou pedregulhos, de acordo com qual destas duas frações granulométricas predominarem. Por exemplo, se o solo tiver 30% de pedregulho, 40% de areia e 30% de finos ele será classificado como areia (S). Identificado um solo como areia ou pedregulho deve-se conhecer suas características secundárias.

Os solos granulares podem ser “bem-graduados”, quando existem grãos ao longo de uma faixa de diâmetros bem extensa, ou “mal graduados”, quando há predominância de partículas com certo diâmetro (PINTO, 2000). Estas características podem ser expressas pelos coeficientes de uniformidade (Cu) e de curvatura (Cc), que são utilizados na classificação dos solos de granulometria grossa conforme as Equações 2 e 3:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (3)$$

Onde:

D_{10} : Diâmetro das peneiras que permitem passar 10% do material;

D_{30} : Diâmetro das peneiras que permitem passar 30% do material;

D_{60} : Diâmetro das peneiras que permitem passar 60% do material.

Pinto (2000) complementa que quando a fração fina do solo é predominante, ele será classificado como silte (M), argila (C) ou solo orgânico (O), não em função da porcentagem das frações granulométricas de silte ou argila, mas pelos índices de consistência, já que representam melhor o comportamento dos solos finos. Ao analisar os índices e comportamento de solos, Casagrande notou que ao colocar o Índice de Plasticidade (IP) do solo em função do Limite de Liquidez (LL), em um gráfico, como representado pela Figura 7, os solos de comportamento argiloso se faziam representar por um ponto acima de uma reta inclinada, denominada de Linha A. Solos siltosos e solos orgânicos, ainda que argilosos, são representados por pontos localizados abaixo da linha A, conforme a Equação 4:

$$IP = 0,73.(LL-20) \quad (4)$$

Onde:

IP: Índice de Plasticidade.

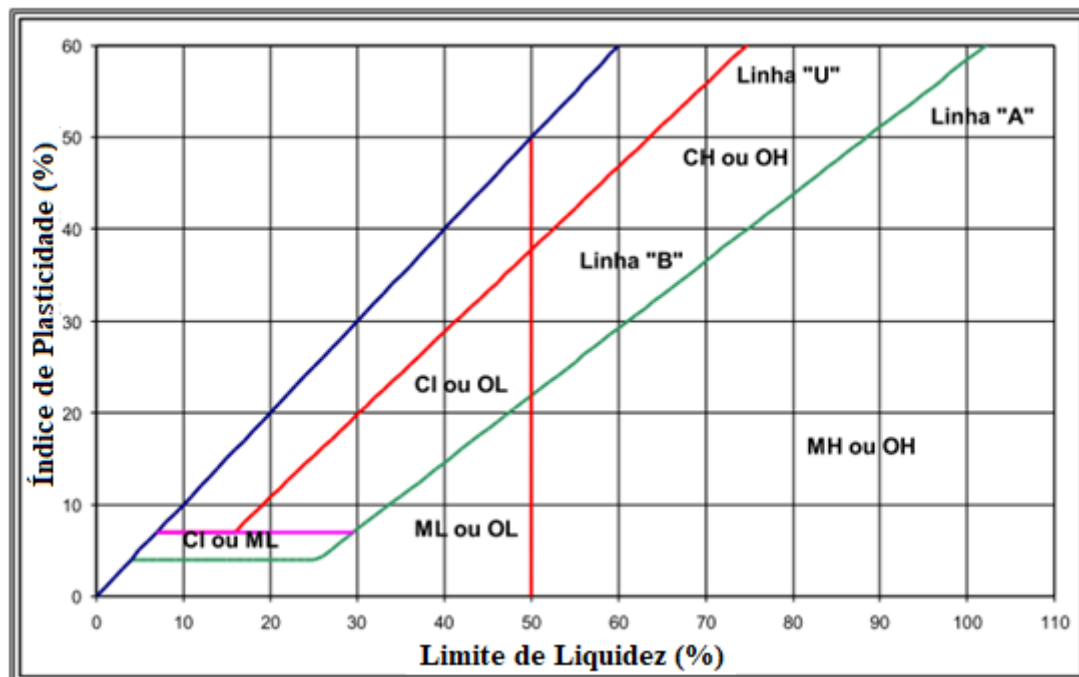
LL: Limite de Liquidez.

A Figura 7 apresenta a carta ou gráfico de plasticidade onde no eixo das abscissas verifica-se o valor do Limite de Liquidez e no eixo das ordenadas o valor do Índice de Plasticidade do solo a ser analisado. O gráfico de plasticidade é subdividido em regiões pelas linhas “A”, “B” e “U”. A linha “A” separa os siltes das argilas. Os siltes são representados abaixo da linha “A” e as argilas acima desta linha. Os solos de baixa e alta compressibilidade são separados pela linha “B”, localizados à esquerda e à direita, respectivamente.

A linha “U”, determinada empiricamente para ser o limite superior aproximado para solos naturais, este dado é utilizada na verificação quanto à existência de dados errôneos, e

quaisquer resultados de ensaios que recaiam acima ou à esquerda dessa linha devem ser verificados.

Figura 7 - Gráfico de Plasticidade



Fonte: Adaptado de ASTM (1990)

2.4 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

No pavimento de blocos intertravados, assim como aqueles com revestimento asfáltico, considera-se que as cargas aplicadas são transmitidas de forma atenuada ao subleito, através de camadas intermediárias (CODISC, 1986).

Para o dimensionamento de pavimento intertravado, é assumido que a camada de revestimento (pavers ou pedras) contribui para a camada de resistência do pavimento, se comportando de maneira semelhante a um material elástico homogêneo (KNAPTON, 1992). Como resultado, foi possível modificar os métodos convencionais de dimensionamento para pavimentos flexíveis substituindo o poliedro por sua espessura equivalente estrutural de camada asfáltica de revestimento.

Conforme Senço (2007), o dimensionamento de um pavimento deve ser feito de forma que as camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, sejam suficientes para resistir, transmitir e distribuir os esforços solicitantes ao subleito, sem que este conjunto sofra ruptura, deformações apreciáveis ou desgaste superficial excessivo.

2.4.1 Carga Transmitida ao Terreno

Por ser pavimento de blocos rígidos de pedra de dimensões médias e com ligações precárias entre si, o pavimento de paralelepípedos ou lajotas pode ser considerado como sendo semi-flexível.

A aplicação de uma carga em um bloco de pedra faz com que esse o transmita inteiramente ao subleito, através da base, pois a intermitência do conjunto praticamente impede a transmissão lateral.

As saliências e reentrâncias das faces laterais, assim como o atrito pelo rejuntamento de areia, não são consideradas para o cálculo, no que se refere ao alívio de pressão que podem ocasionar no subleito, logo abaixo do bloco carregado (DER, 1981).

2.4.2 Cálculo da Espessura do Pavimento

2.4.2.1 Estudos de Raymond Peltier

A determinação da espessura dos pavimentos construídos em pedra sempre foi uma questão essencialmente prática. A experiência em cada região, com suas características de solos e clima, associada a alguns conceitos teóricos, permite que se estabeleçam relações empíricas entre o tráfego, o tipo de solo do subleito e a espessura total do pavimento (MINEROPAR, 1983).

Um dos primeiros métodos de dimensionamento foi elaborado por Peltier (1969), e é baseado no valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Diversos métodos de dimensionamento utilizam o CBR como um indicador da qualidade do solo de fundação e das demais camadas do pavimento.

A equação proposta por Peltier em 1969 (Equação 5) é utilizada para o cálculo de espessuras de um pavimento com blocos de concreto, em que o método é aplicado em função da espessura total do pavimento, carga da roda, número de repetições e da resistência do solo do subleito.

$$e_p = \frac{(100 + 150\sqrt{P})}{I_s + 5} \quad (5)$$

Onde:

e_p : espessura total do pavimento (cm);

Is: Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito (%);

P: Carga por roda (t);

A Equação de Peltier (Equação 5) determina a espessura total do pavimento, e pelo fato de ter sido desenvolvida para condições de tráfego leve, o verdadeiro tráfego imposto no pavimento é não corresponde à realidade atual. A Equação 5 considera apenas a carga de roda do eixo-padrão em toneladas. O método também, não considera o uso de camada de base, apenas sub-base e camada de areia de assentamento, sendo esta última especificada com 5 cm de espessura.

2.4.2.2 Método da PMSP

O método de dimensionamento elaborado pela Prefeitura Municipal de São Paulo em 2004, publicada através da instrução de projeto IP-06/2004, é uma das referências nacionais para o dimensionamento de pavimentos intertravados. Embora tenha sido elaborado para os pavimentos de bloco de concreto, a norma pode ser utilizada também para os pavimentos em alvenaria polidétrica, uma vez que os princípios de funcionamento são os mesmos.

As vias a serem pavimentadas por este método deverão ser classificadas de acordo com a Instrução de Projeto IP02 - Classificação das Vias da SIURB/PMSP, levando em consideração que a carga máxima legal é de 100 kN para o eixo simples de rodas duplas (ESRD). Observa-se que no Brasil, o dimensionamento de pavimentos flexíveis considera o eixo simples padrão como um eixo simples de roda dupla de 80 kN. Neste sentido, este método considera um eixo mais pesado. A Figura 8 mostra, de forma resumida, os principais parâmetros de classificação das vias obtidas por meio deste método.

Figura 8 - Classificação da via em função do tráfego

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO ANOS	VOLUME INICIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA		EQUIVALENTE POR VEÍCULO	N CARACTERÍSTICO
			VEÍCULO LEVE	CAMINHÃO E ÔNIBUS		
Via local residencial com passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,50	10^5
Via coletora secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	5×10^5
Via coletora principal	Meio Pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	2×10^6
Via arterial	Pesado	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	2×10^7
Via arterial principal ou expressa	Muito Pesado	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	5×10^7
Faixa Exclusiva de ônibus	Volume Médio	12	-	< 500		10^7
	Volume Elevado	12	-	> 500		5×10^7

Fonte: PMSP (2004)

A estrutura do pavimento é dimensionada na instrução normativa da PMSP por dois procedimentos de cálculo distintos, ambos preconizados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). A escolha do método de dimensionamento deve ser feito em função do número “N” de solicitações de eixo simples padrão e pelas características do subleito. Os procedimentos são denominados “A” e “B”.

2.4.2.2.1 Procedimento A

O Procedimento A foi adaptado pela ABCP no Estudo Técnico n.º27, a partir do método proposto por A. A. Lilley e B. J. Walker, aplicando-se aos pavimentos submetidos a tráfego de veículos comerciais (PMSP, 2004).

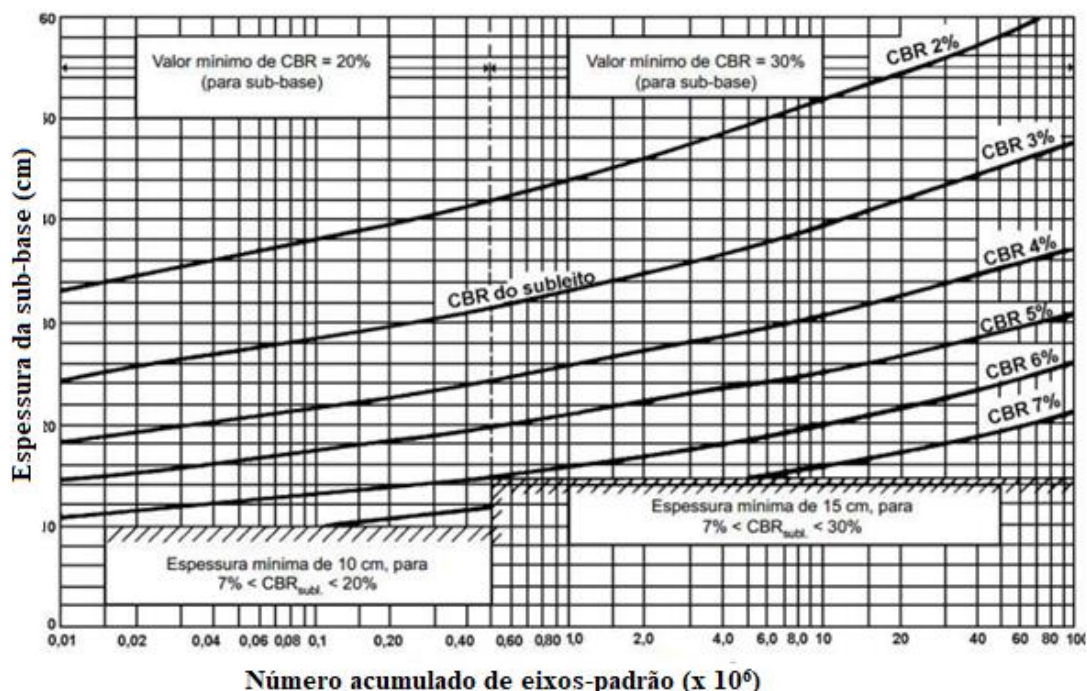
Este procedimento preconiza a utilização de bases cimentadas, sendo recomendado para vias de tráfego leve onde o número de solicitações do eixo padrão esteja limitado a 10^5 . De acordo com a PMSP (2004), o emprego deste procedimento, para este nível de tráfego, resulta em estruturas mais esbeltas e economicamente mais viáveis quando comparado ao

procedimento B, devido não ser necessária à utilização da camada de base. Ainda, para vias de tráfego meio pesado a pesado com "N" típico superior a $1,5 \times 10^6$ em função do emprego de bases cimentadas, o procedimento A é recomendado, como mais adequado, em relação ao Procedimento B.

Para o dimensionamento do pavimento, o Procedimento A utiliza dois gráficos de leitura direta, onde através do valor do CBR do subleito e do número "N", encontramos as espessuras necessárias das camadas constituintes do pavimento.

A Figura 9 fornece as espessuras necessárias de sub-base, em função do valor de solicitações de eixo padrão, número N, e do *California Bearing Ratio* (CBR) do subleito.

Figura 9– Espessura necessária de sub-base



Fonte: Adaptado de Carvalho (1998)

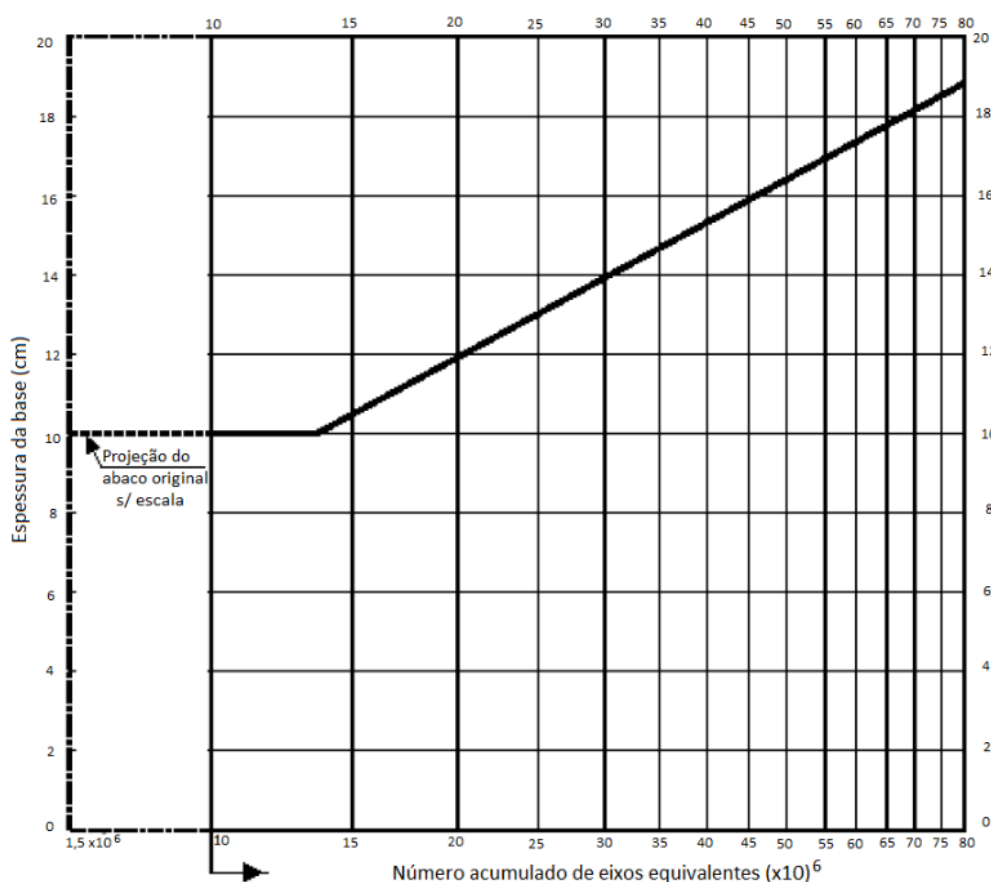
De acordo com a Figura 9 pode-se aferir o seguinte:

1. Quando $N < 0,5 \times 10^6$, o material da sub-base deve possuir um valor de CBR mínimo de 20%;
2. Quando $N \geq 0,5 \times 10^6$, o material da sub-base deve possuir um valor de CBR mínimo de 30%;
3. Quando $N < 0,5 \times 10^6$ e o material do subleito possuir um valor de CBR igual ou superior a 20%, não é necessária camada de sub-base;

4. Quando $N \geq 0,5 \times 10^6$ e o material do subleito possuir um valor de CBR igual ou superior a 30%, não é necessária camada de sub-base.

Para a camada de base é utilizado o ábaco da Figura 10, que a espessura é determinada em função do número (N) de solicitações. É recomendada uma espessura mínima de 10 cm quando o número (N) for entre $1,5 \times 10^6$ e 10^7 , e quando o número (N) for inferior a $1,5 \times 10^6$, não é necessário camada de base cimentada (CARVALHO, 1998).

Figura 10– Espessura da base cimentada



Fonte: PMSP (2004)

Quando optado pela utilização de base granular, o dimensionamento será igual ao da base dos pavimentos de concretos asfálticos, presente no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), limitada a uma espessura mínima de 15 cm.

2.4.2.2.2 Procedimento B

Este método foi desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE), de uma evolução do método para pavimentos flexíveis, levando em consideração o intertravamento dos blocos e pressupondo uma resistência crescente das camadas, a partir do subleito, de modo que as deformações sejam pequenas, a ponto de reduzir ao mínimo as deformações permanentes.

O dimensionamento por este método se dá em função da classificação da via em estudo e de seu respectivo número de solicitações do eixo simples padrão "N", bem como do valor do índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito. Neste método admite-se também o uso de bases tratadas com cimento, com fator de equivalência estrutural igual a 1,65.

O ábaco da Figura 11 apresenta a espessura necessária de material puramente granular (H_{BG}) correspondente à camada de base assentada sobre o subleito. O valor de H_{BG} assim determinado pode ser subdividido em dois, adotando-se uma camada de sub-base puramente granular e uma camada de base cimentada, que terá uma espessura determinada em função do coeficiente de equivalência estrutural ($K_{BC}= 1,65$), conforme a Equação 6:

$$H_{BC} = \frac{H_{BG} - H_{SBG}}{K_{BC}} \quad (6)$$

Onde,

H_{BC} = espessura de base cimentada, em cm;

H_{BG} = espessura de base granular, em cm;

H_{SBG} = espessura de sub-base granular, em cm;

K_{BC} = coeficiente estrutural da camada cimentada.

O procedimento recomenda ainda que as espessuras mínimas para camadas de base sejam de 15 cm para materiais puramente granulares e 10 cm para materiais tratados com ligante hidráulico.

Figura 11 - Espessura para a base puramente granular (H_{BG})

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H _{BG})													
			Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito											
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20			
(10³)	27	21	17	Mín. 15										
2 x 10³	29	24	20										17	
4 x 10³	33	27	23										19	17
8 x 10³	36	30	25										22	19
(10⁴)	37	31	26	23	20	Mín. 15								
2 x 10⁴	41	34	29	25	22								17	
4 x 10⁴	44	37	32	28	24								19	
8 x 10⁴	48	40	35	30	27								21	17
(10⁵)	49	41	36	31	28	22	18	Mín. 15						
2x10⁵	52	44	38	34	30	24	19							
4x10⁵	56	47	41	36	32	26	21							
8x10⁵	59	51	44	39	34	28	23							
(10⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16	Mín. 15					
2x10⁶	64	55	47	42	38	30	25	17						
4x10⁶	68	58	50	45	40	33	27	19						
8 x 10⁶	71	61	53	47	42	34	29	20						
(10⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21	Mín. 15					

Mín. 15

Fonte: PMSP (2004)

3 MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos seguidos para a avaliação da viabilidade técnica e econômica de pavimentação poliédrica na Rodovia Municipal Germina Bresolin, localizada no município de Marechal Cândido Rondon – PR.

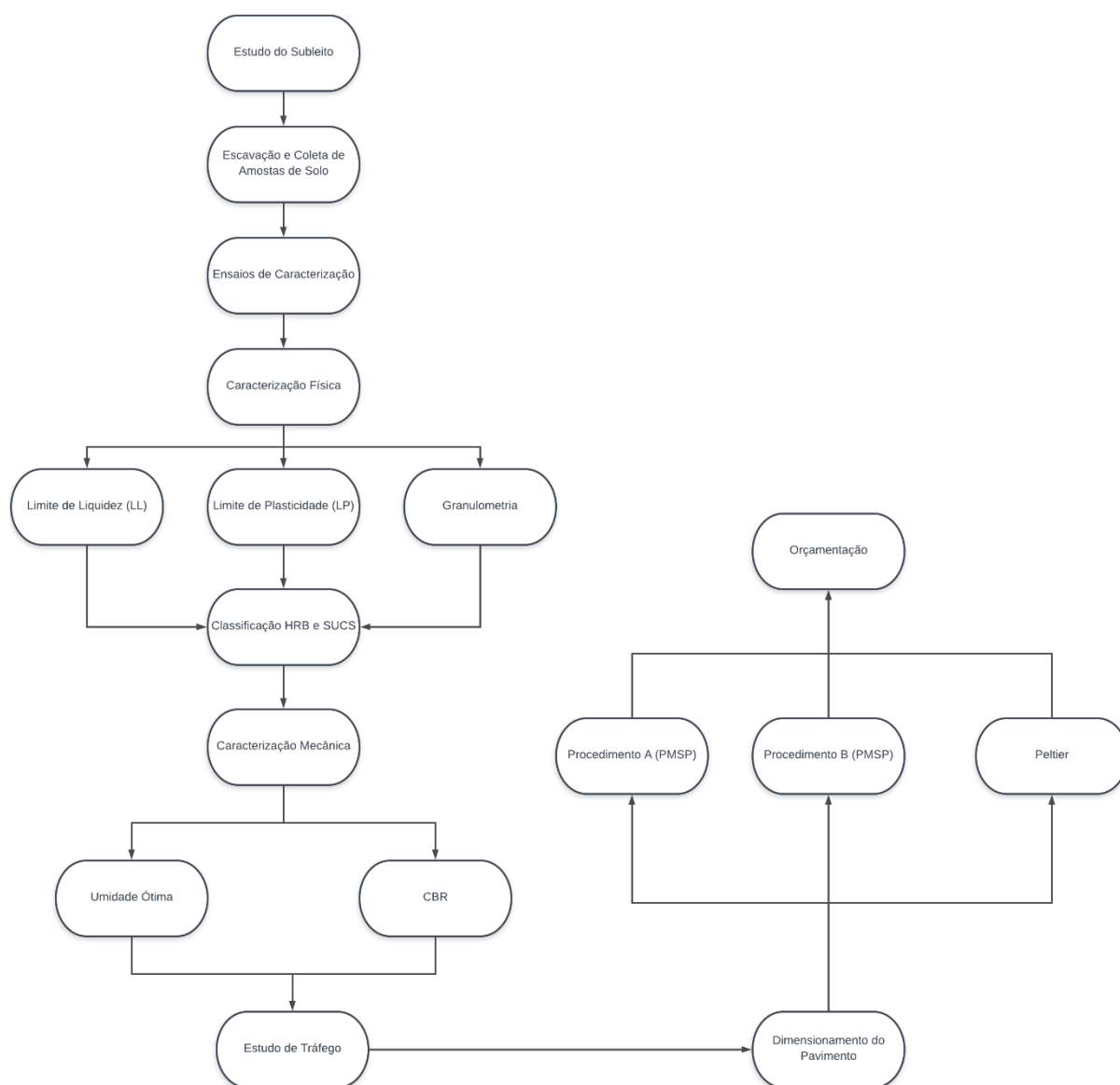
A abordagem deste estudo é quantitativa, qualitativa e comparativa, uma vez que tem por objetivo, além de analisar os resultados, compará-los entre si, de modo a identificar o de melhor desempenho.

Para isso foram cumpridas as seguintes etapas de pesquisa:

- Coleta de dados de tráfego;
- Coleta de amostras deformadas de solo para a realização de ensaios em laboratórios disponibilizados pela Universidade Federal de Santa Catarina;
- Dimensionamentos necessários ao estudo seguindo as normas vigentes;
- Realização dos orçamentos dos projetos elaborados, seguindo como referência a tabela do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO), tabela Sinapi e tabela de referência de custos do DER/PR;
- Comparação dos orçamentos obtidos.

O fluxograma da Figura 12 apresenta a sequência metodológica adotada no estudo de caso.

Figura 12 – Fluxograma do método



Fonte: Autor (2018)

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo é localizado no município de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Estado do Paraná. A cidade localiza-se a uma distância de 580 quilômetros da capital do Estado (Curitiba) e situa-se, geograficamente, nas coordenadas 24° 33' 49" latitude sul e 54° 03' 27" longitude oeste.

O trecho de rodovia estudado é localizado dentro do município, no distrito de Margarida, perfazendo um trecho de aproximadamente 5,6 quilômetros. O início do trecho está situado geograficamente nas coordenadas 26° 11' 26,9" latitude sul e 52° 43' 49,5" longitude

oeste e o término nas coordenadas 26° 11' 42" latitude sul e 52° 44' 35" longitude oeste, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Localização geográfica do estudo de caso



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2018)

A Figura 14 ilustra o trecho estudado em dois pontos diferentes, onde se pode observar algumas características inerentes a este tipo de pavimento, assim como o atual estado de conservação da via.

Figura 14 – Registro fotográfico do trecho estudado



Fonte: Autor (2018)|

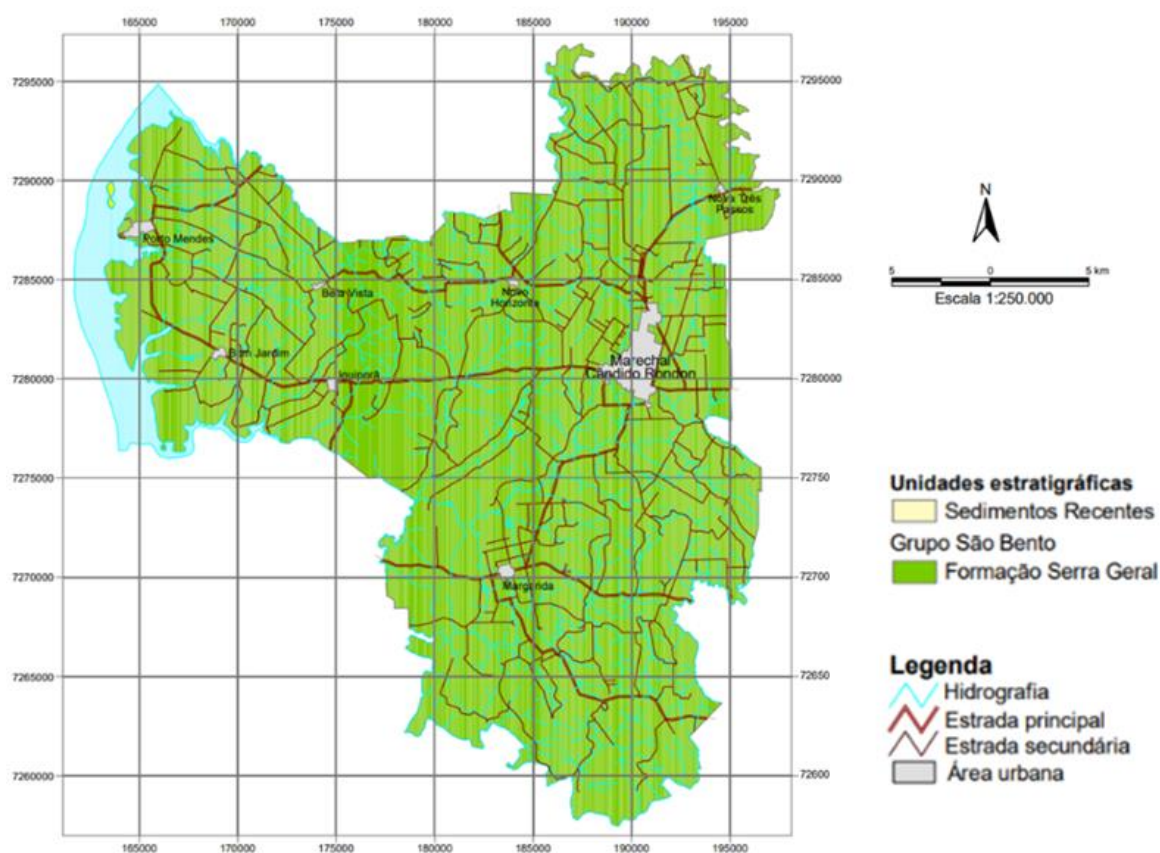
3.2 MATERIAIS

3.2.1 Caracterização geológica

A área de estudo possui uma constituição geológica basáltica (Formação Serra Geral) decorrente dos derrames de lavas do grande vulcanismo fissural ocorrido durante a era Mesozóica, o chamado derrame de Trapp (MAACK, 1981). As rochas desta formação têm ampla potencialidade de exploração como brita na construção civil e como pedras de talhe, cantaria e revestimento (MINEROPAR, 2001).

As rochas que afloram no município de Marechal Cândido Rondon são de caráter básico, ou seja, ricas em Ferro, Magnésio e Cálcio, com menores teores de sílica. Trata-se de basaltos, andesi-basaltos e andesitos de afinidade toleítica (PINESE & NARDY, 2003). A Figura 15 ilustra a composição estratigráfica da cidade.

Figura 15 – Mapa Geológico de Marechal Cândido Rondon



Fonte: Mineropar (2001)

3.2.2 Solo regional

Devido às seus atributos morfológicos, as rochas basálticas localizadas em relevante quantidade no município de Marechal Cândido Rondon, modificaram-se ao longo do tempo sob a ação do intemperismo, dando origem a um latossolo, denominado de terra roxa, não só do município como em toda a região (MAACK, 1981).

Segundo Mineropar (2001), o aproveitamento deste tipo de latossolos como base de calçamento com pedras irregulares, tem sido amplamente utilizado no estado do Paraná e é recomendável para as vias de baixa circulação de áreas urbanas e rurais.

O presente estudo contemplou o emprego de um solo provenientes do trecho estudado, buscando caracterizar a camada de subleito e o material utilizado nas camadas de assentamento, onde comumente é empregado o mesmo material ou similar ao material do subleito.

Para a coleta da amostra de solo foi utilizado uma retroscavadeira, cedida pela Prefeitura Municipal de Marechal Cândido Rondon / PR, sendo executado um poço de sondagem na profundidade de 0,80 metros, a partir do leito natural da via, e coletou-se aproximadamente 40 kg de solo para os ensaios necessários. Após a coleta o solo foi armazenado em sacos plásticos para seu transporte.

Em laboratório, preparou-se a amostra para os ensaios de caracterização e compactação, baseando-se na norma ABNT NBR 6457/86. A secagem ao ar do solo até a umidade higroscópica foi realizada durante 5 dias. O destorroamento foi realizado com o auxílio da mão de gral, evitando a quebra dos grãos e homogeneizando a amostra, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Secagem e destorroamento do solo



Fonte: Autor (2018)

Após o processo de destorroamento do solo, foi realizado o quarteamento para formar as amostras a serem utilizadas nos ensaios de caracterização, de acordo com a norma anteriormente citada.

3.3 MÉTODO

3.3.1 Análise Granulométrica

A determinação da composição granulométrica seguiu os procedimentos especificados na norma do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER-ME 051/94 – Solo Análise Granulométrica, através do qual é possível determinar a porcentagem em peso das diferentes frações de agregados constituintes de solo.

Como o solo estudado se trata de um solo fino, recorreu-se ao processo de sedimentação, conforme orientado pela norma anteriormente citada, que consiste na medida indireta da velocidade de queda das partículas se sedimentam no meio (água). A fim de possibilitar o ensaio de sedimentação foi necessário determinar a massa específica dos grãos de solo, para isto, foram executados os ensaios pertinentes, de acordo com a norma NBR-6508/84. A Figura 17 mostra o momento de aplicação de vácuo na amostra durante a execução do ensaio.

Figura 17 – Aplicação de vácuo na amostra, ensaio de massa específica



Fonte: Autor (2018)

Após o término dos ensaios, as frações de solo foram classificadas de acordo com a NBR 06502/95-Rochas e Solos, conforme o tamanho da partícula. As dimensões máximas e mínimas para cada tipo de partícula é apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 - Granulometria, frações distribuídas

Fração	Dimensão Mínima (mm)	Dimensão Máxima (mm)
Argila	0,000	0,002
Silte	0,002	0,060
Areia Fina	0,060	0,200
Areia Média	0,200	0,600
Areia Grossa	0,600	2,000
Pedregulho	2,000	60,000

Fonte: ABNT NBR6502 (1995)

3.3.2 Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg avaliados nesse estudo foram o limite de liquidez e o limite de plasticidade, os quais foram realizados respectivamente segundo as normas ABNT NBR 6459/84 e ABNT NBR 7180/84.

3.3.2.1 Limite de Liquidez

O ensaio foi realizado seguindo a metodologia descrita pela ABNT NBR 6459/84. Após o término do ensaio, foi gerado um gráfico de número de golpes em função da umidade, ajustando os pontos por meio de uma reta. A partir do gráfico foi possível determinar a umidade necessária para fechar a ranhura com 25 golpes, sendo esta umidade correspondente ao Limite de Liquidez. A Figura 18, ilustra no detalhe em vermelho, o fechamento da ranhura durante o ensaio para determinação do Limite de liquidez.

Figura 18- Aparelho de Casagrande utilizado para a determinação do Limite de Liquidez



Fonte: Autor (2018)

3.3.2.2 Limite de Plasticidade

Para execução do ensaio que determina o Limite de Plasticidade (LP), tomou-se como base a NBR 7180 (1984) – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

3.3.3 Índice de Grupo

A determinação do índice de grupo é baseado nos Limites de Atterberg (LL e IP) do solo e na porcentagem de material fino que passa na peneira #200 (0,075mm de abertura). Para Senço (2003), o cálculo do IG foi calculado de acordo com a Equação 1.

3.3.4 Ensaio de Compactação

No presente estudo o ensaio de compactação foi realizado na energia Proctor Normal, seguindo os procedimentos especificados pela NBR7182/86, com o intuito de determinar a umidade ótima de compactação ($w_{ót}$) e o peso específico seco aparente máximo ($\gamma_{d_{máx}}$).

3.3.5 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio para a determinação do CBR foi realizado segundo a norma DNIT 172/16-ME. Foram utilizados os resultados do teor de umidade ótimo das curvas de compactação, na energia normal, para a confecção dos corpos de prova do ensaio de CBR.

Para a realização do ensaio CBR, realizou-se a compactação do material, conforme o ensaio de compactação Proctor, na energia normal, com o material na umidade ótima. Após a compactação mergulhou-se o cilindro com o material em água por 4 dias, a fim do solo entrar em seu estado de saturação. Durante este tempo, mede-se a expansão registrada no extensômetro acoplado ao corpo de prova, a cada 24 horas.

Determinada a expansão, procedeu-se com a realização do ensaio CBR. Para isto leva-se o cilindro com o solo até uma prensa mecânica (Figura 19), sendo realizado o ensaio, que consiste na penetração de um pistão cilíndrico em velocidade constante no solo compactado e saturado, sendo anotados os valores de pressão necessária para o pistão penetrar no solo.

Figura 19 - Prensa Mecânica Para Ensaio CBR



Fonte: Autor (2018)

O cálculo do CBR é realizado pela Equação 7:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Pressão Calculada ou Pressão Corrigida}}{\text{Pressão Padrão}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

Pressão Calculada ou Pressão Corrigida: Pressão correspondente às leituras do anel no gráfico de aferição do mesmo;

Pressão Padrão: Correspondente a uma pressão necessária para obter o deslocamento em um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%.

3.3.6 Volume de Tráfego

Para o dimensionamento do pavimento, deve-se conhecer o número “N”, que representa o número equivalente de operações de um eixo padrão de 100 kN durante o período considerado de vida útil do pavimento.

Para determinar o volume de tráfego, fez-se o levantamento de tráfego diário médio do trecho em estudo, que se deu a através da contagem manual do tráfego, durante um período de 3 dias, durante os dias 22 a 24 de julho de 2018, das oito às dezessete horas, dos principais meios de transporte que transitaram pela rodovia. O modelo de ficha utilizado no levantamento é apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Ficha utilizada para determinação do Volume de Tráfego

VOLUME DE TRÁFEGO				
Estrada:				
Operador:			Data:	
HORA	CARRO	CAMINHÕES	ÔNIBUS	TRATOR
8:00 às 12:00				
13:00 às 17:00				
TOTAL				

Fonte: Autor (2018)

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.1.1 Análise Granulométrica

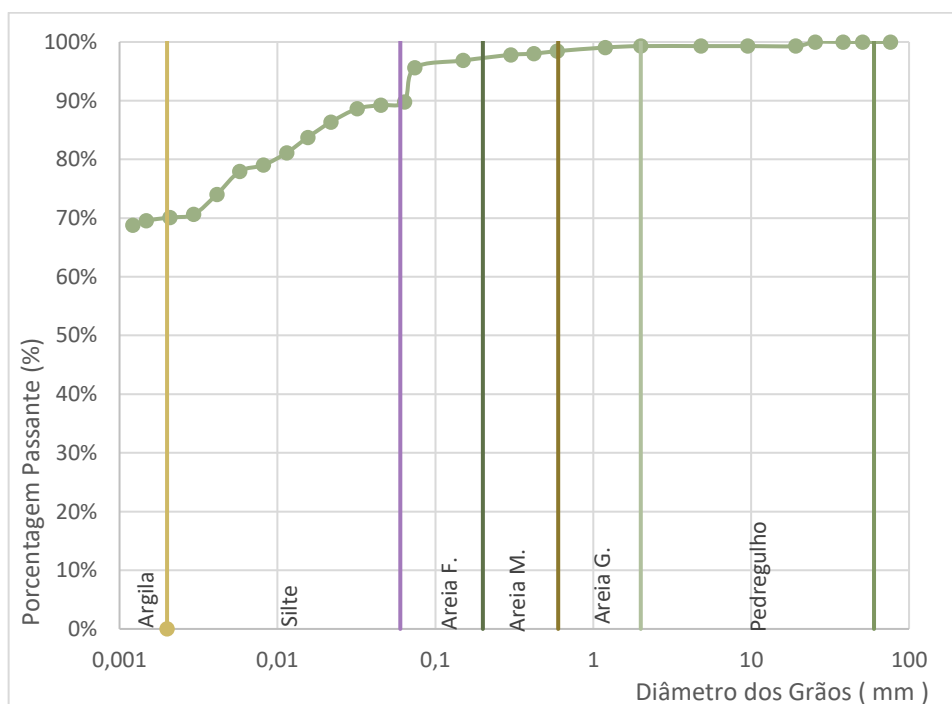
A análise granulométrica possibilitou a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas que se encontram no solo. A classificação granulométrica foi feita de acordo com o tamanho de grão definidos pela ABNT NBR 6502/95 (Tabela 2). O resultado está apersentado na Tabela 3 e na Figura 21.

Tabela 3 - Classificação dos solos de acordo com sua granulometria

Material	Porcentagem
Argila	70,09%
Silte	19,69%
Areia Fina	7,07%
Areia Média	1,59%
Areia Grossa	0,86%
Pedregulho	0,70%
Total	100,00%

Fonte: Adaptado da NBR 06502 - Rochas e Solos (1995)

Figura 21 - Granulometria, frações distribuídas do solo avaliado



Fonte: Autor (2018)

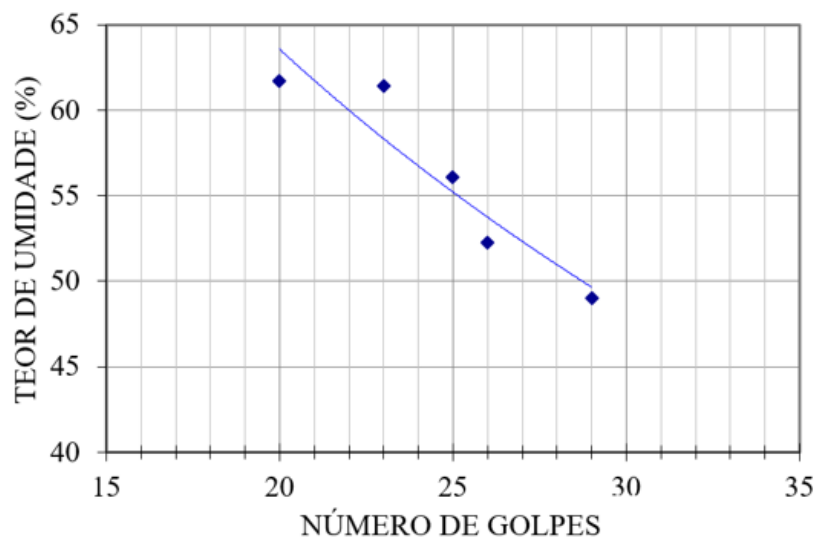
4.1.2 Limite de Liquidez

A Figura 22 ilustra o gráfico utilizado para a determinação do valor do limite de liquidez do solo, utilizando os dados da Tabela 4.

Tabela 4 - Dados do Ensaio de Limite de Liquidez	
No. de Golpes	Teor de Umidade (%)
20	61,73
23	61,41
25	56,09
26	52,27
29	49,01

Fonte: Autor (2018)

Figura 22 - Limite de Liquidez



Fonte: Autor (2018)

Por meio da Figura 22 pode-se concluir que o Limite de Liquidez do solo estudado é de 55%. Isto significa que o solo tende a amolecer quando se adiciona água além do limite encontrado, e se a quantidade acrescentada for excessiva, forma-se uma lama que se comporta como um líquido viscoso com resistência ao cisalhamento praticamente nula.

4.1.3 Limite de Plasticidade

A Tabela 5 demonstra os resultados obtidos nos ensaios de Limite de Plasticidade:

Tabela 5 – Limite de Plasticidade

Amostra	Teor de Umidade (%)
1	36,89
2	36,62
3	36,84
4	36,71
5	36,73

Fonte: Autor (2018)

Por meio da análise dos dados presentes na Tabela 5, conclui-se que o limite de plasticidade do solo estudado é de 37%. Este dado é importante para chegarmos ao índice de grupo que indicara a qualidade do subleito como fundação do pavimento e posterior classificação do solo.

4.1.4 Índice de Grupo

Os resultados de limite de liquidez e limite de plasticidade possibilitaram determinar o índice de grupo (IG), dado este, necessário para classificar o solo estudado. O resultado pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 – Determinação do Índice de Grupo

a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	IG (%)
40	40	15	8	14

Fonte: Autor (2018)

O índice de grupo corresponde a um número inteiro que varia de 0 (solo ótimo quanto a capacidade de suporte) a 20 (solo péssimo quanto a capacidade de suporte), portanto o IG mostra que o solo estudado não tem um bom comportamento como fundação de pavimento.

4.1.5 Classificação do Solo

A partir da granulometria, dos limites de consistência e do índice de grupo foi possível classificar o solo natural, nos sistemas de classificação dos solos SUCS e AASHTO, apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação do solo estudado

Passante #200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Índice de Grupo	AASHTO	SUCS
96,27	55	37	18	14	A-7-5	MH

Fonte: Autor (2018)

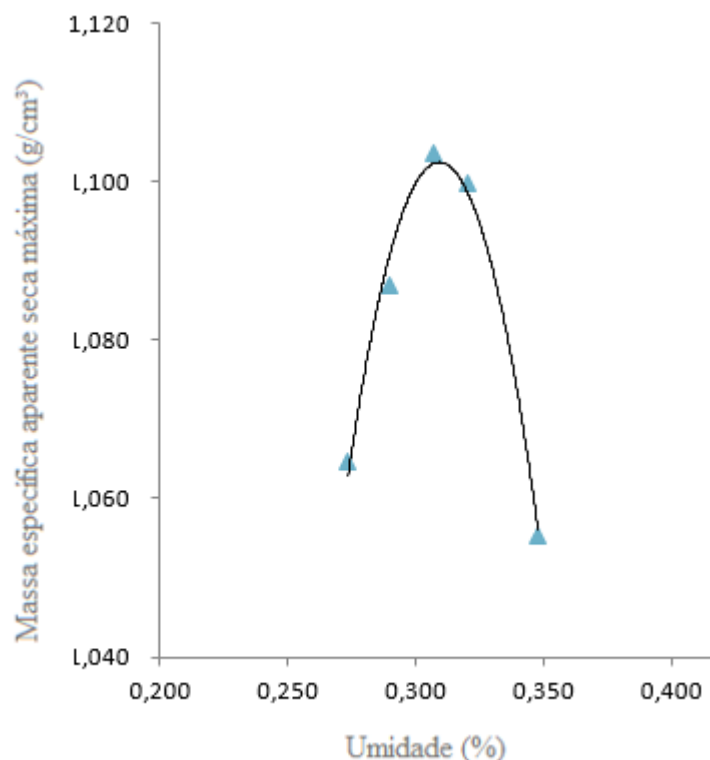
A partir dos resultados mostrados na

Tabela 7, classificou-se o solo natural como um A-7-5 (solos argilosos), nomenclatura esta referente a AASHTO. Segundo DNIT (2006), os solos do grupo A-7- 5 são materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, com comportamento para subleito considerado sofrível a ruim. Quanto à classificação referente ao SUCS, o solo natural é classificado como MH, um silte de alta compressibilidade com dilatação lenta e mínima.

4.1.6 Ensaio de Compactação

O Ensaio de Compactação foi realizado com o intuito de encontrar-se a umidade ótima de compactação do material, pelo qual se obtém também a densidade seca máxima do material. Os resultados obtidos no ensaio, realizado na energia Proctor normal, são mostrados na Figura 23.

Figura 23 – Resultados do Ensaio de Compactação



Fonte: Autor (2018)

Através da curva de compactação apresentada na Figura 23, pode-se concluir que a umidade ótima de compactação do solo analisado é de 31%. E a massa específica aparente seca máxima correspondente é de 1,10 g/cm³.

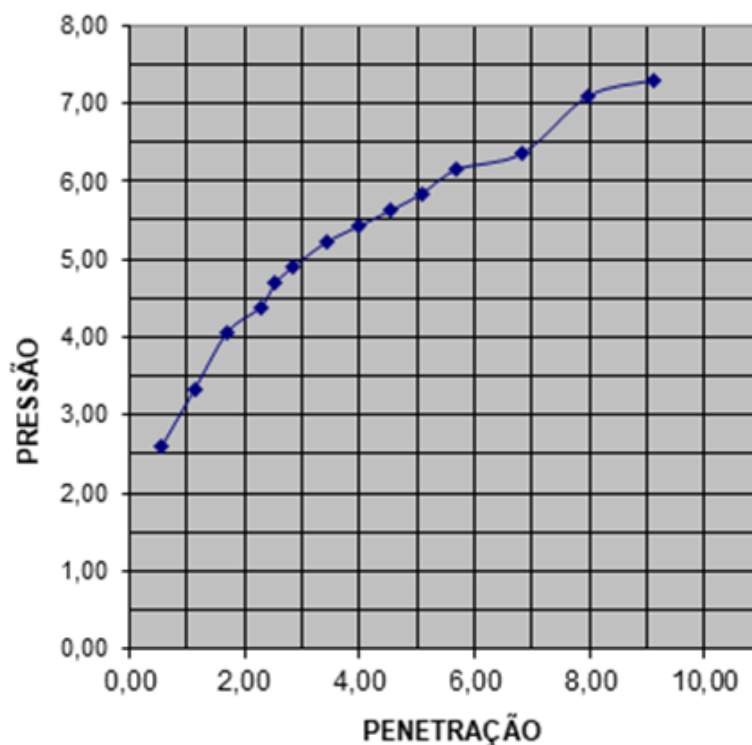
4.1.7 Índice de Suporte Califórnia

Depois de finalizado o ensaio e feito todas as leituras no extensômetro, foi possível obter a curva característica de CBR (Figura 24). Os valores referentes ao CBR da amostra são apresentados na Tabela 8, os valores destacados são referentes à recomendação da NBR 9895/1985, em que deve ser adotado o maior dos valores obtidos nas penetrações 2,54 mm e 5,08 mm. Onde neste caso o maior valor foi registrado na penetração de 2,54 mm, resultando em CBR de 8%. Este valor é considerado mediano para solos de fundação de estruturas de pavimentos.

Tabela 8 – Resultado do Ensaio de Penetração					(continua)
Tempo (min)	Penetr. (mm)	Leitura Deflec.	Pressão Calc.	Pressão Corr.	CBR (%)
0,5	0,57	25	2,61	3,61	
1	1,14	32	3,34	4,34	
1,5	1,71	39	4,07	5,07	
2	2,28	42	4,38	5,38	
2,2	2,54	45	4,69	5,69	8,097
2,5	2,85	47	4,9	5,9	
3	3,42	50	5,21	6,21	
3,5	3,99	52	5,42	6,42	
4	4,56	54	5,63	6,63	
4,5	5,08	56	5,84	6,84	6,486
5	5,7	59	6,15	7,15	
6	6,84	61	6,36	7,36	
7	7,98	68	7,09	8,09	
8	9,12	70	7,3	8,3	
9	10,26	72	7,51	8,51	

Fonte: Autor (2018)

Figura 24 – Curva Pressão Penetração (CBR)



Fonte: Autor (2018)

4.2 LEVANTAMENTO DE TRÁFEGO E CLASSIFICAÇÃO DA VIA

O volume de tráfego, como já mencionado na metodologia, deu-se durante 3 dias, nos quais foram contados manualmente os veículos que transitaram pela estrada no período das 8:00 horas às 12:00 horas da manhã e das 13:00 horas às 17:00 horas da tarde. As fichas dos levantamentos encontram-se no Apêndice A deste trabalho. A Tabela 9 mostra o volume de tráfego médio diário do trecho em estudo.

Tabela 9 – Volume de tráfego médio diário no trecho estudado

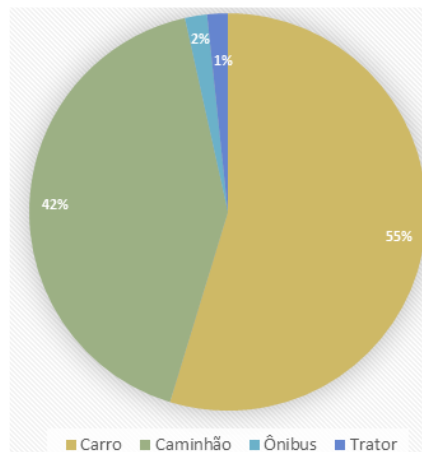
Veículo	Quantidade (veículos/dia)
Carro (passeio)	162
Caminhão	124
Ônibus/Van	5
Trator	5

Fonte: Autor (2018)

A partir dos dados da Tabela 9, elaborou-se um gráfico (Figura 25) para uma melhor ilustração da composição do tráfego no trecho estudado. É importante mencionar que os

veículos de passeio não são considerados na determinação do número N, porém deve-se conhecer a composição do tráfego para efeitos de dimensionamento da capacidade da via. Figura

Figura 25 - Tráfego médio diário no trecho estudado



Fonte: Autor (2018)

A partir da análise da Figura 25, pode-se concluir que o trânsito de carros é predominante, seguido pelos caminhões, ônibus e trator respectivamente. Entretanto, o fluxo de veículos pesados é o que mais causa impacto no pavimento. Frente a isso, é notável a importância de um pavimento bem dimensionado, visando atender o escoamento da produção agrícola, a segurança e a mobilidade da população.

Para fins de dimensionamento do pavimento, foi adotada a média de veículos pesados, ou seja, ônibus, caminhão e tratores, resultando em uma média de 134 veículos por dia.

A partir do tráfego médio diário foi realizada a classificação da via a ser dimensionada com o auxílio da

Figura 26, resultando em um tráfego meio pesado, com N característico igual a 2×10^6 .

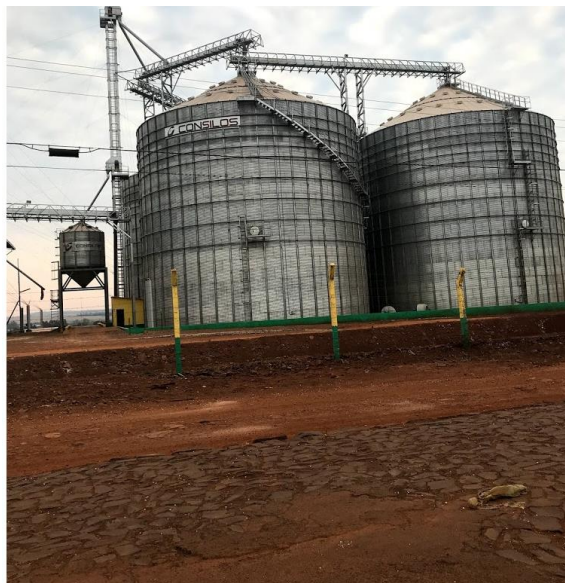
Figura 26 - Classificação e parâmetros de tráfego no trecho estudado.

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO ANOS	VOLUME INICIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA		EQUIVALENTE POR VEÍCULO	N CARACTERÍSTICO
			VEÍCULO LEVE	CAMINHÃO E ÔNIBUS		
Via local residencial com passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,50	10^5
Via coletora secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	5×10^5
Via coletora principal	Meio Pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	2×10^6
Via arterial	Pesado	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	2×10^7
Via arterial principal ou expressa	Muito Pesado	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	5×10^7
Faixa Exclusiva de ônibus	Volume Médio	12	-	< 500		10^7
	Volume Elevado	12	-	> 500		5×10^7

Fonte: Autor (2018)

Também foram realizadas entrevistas com os usuários das vias, e com a cooperativa de produtos agrícolas Agrícola Horizonte, localizada ao longo da via (Figura 27), onde foi constatado que passam por lá diversos caminhões carregados com insumos agropecuários com partindo de Pato Bragado em direção a Marechal Cândido Rondon e vice-versa.

Figura 27 – Cooperativa de sementes localizada ao longo da via



Fonte: Autor (2018)

A Figura 28, ilustra o tráfego pesado encontrado na via estudada durante o levantamento de tráfego.

Figura 28 – Veículos pesados observado durante o levantamento de tráfego



Fonte: Autor (2018)

4.3 DIMENSIONAMENTO

As camadas que constituem o pavimento dimensionado foram concebidas a partir da análise de tráfego, juntamente com as condições geotécnicas dos solos de subleito presente no trecho estudado, para atender uma adequada dissipação das cargas solicitantes.

4.3.1 Subleito

De acordo com o estudo geotécnico analisado para esse projeto, o CBR da região é em torno de 8%. Sendo assim, ultrapassa o mínimo recomendado por CARVALHO (1998) para não haver necessidade de reforço no subleito. Este subleito deve ser compactado e regularizado na cota de projeto.

4.3.2 Revestimento

A camada de revestimento poliédrico para fins de dimensionamento foi determinada como tendo uma espessura padrão a ser utilizado em todos os métodos de dimensionamentos. A espessura foi determinada com base nos memoriais descritivos das últimas licitações disponíveis no site da Prefeitura do Município de Marechal Cândido Rondon (2018), onde sugere que as pedras irregulares tenham uma altura de 13 cm a 17 cm. Fixou-se, portanto a altura das pedras em 15 cm para fins de dimensionamento do pavimento.

4.3.3 Camada de Assentamento

ABCP (2010) recomenda para camadas de assentamento espessuras de 3 cm a 5 cm após compactação, no entanto, cabe esclarecer que espessuras demasiadamente esbeltas provocam uma deformação permanente maior na estrutura final, como ilustrado na Figura 5. Porém, como o método admite uma variação maior nas pedras do que no revestimento em blocos de concreto, optou-se por fixar a espessura desta camada em 5 cm após compactada.

De acordo com o estudo de caso da ABCP, CARVALHO (1998), essa camada é sempre composta por areia, contendo um máximo de 5% de silte e argila e 10% de material retido na peneira de 4,8 mm.

Apesar da experiência no Estado do Paraná demonstrar que as argilas laterizadas do 3º Planalto, têm sido utilizadas como colchão de assentamento e apresentado resultados

satisfatórios para determinados tipos de tráfego (Mineropar, 1983). Porém neste trabalho optou-se por seguir as orientações da ABCP para esta camada.

As camadas de base e sub-base diferenciam-se conforme o método de dimensionamento adotado, por esta razão a espessura e detalhamento destas duas camadas encontram-se nos capítulos subseqüentes.

4.3.4 Procedimento A (PMSP)

O dimensionamento estrutural do pavimento por este método é realizado com base no estudo técnico da ABCP, elaborado por CARVALHO (1998), que é uma adaptação do método concebido por A. A. Lilley e B. J. Walker, porém, aplicando-se a locais submetidos ao tráfego de veículos comerciais.

Este estudo determina como deve ser realizado o dimensionamento de cada uma das camadas de estruturas necessárias. As estruturas necessárias são camadas de sub-base, de base, de assentamento e de rolamento. Todas essas camadas são assentadas sobre um subleito cujo CBR é igual a 8%, sendo assim, segundo CARVALHO (1998), não há necessidade de uma camada de reforço de subleito.

O material que constitui a sub-base propicia suporte ao subleito e deverá ter um CBR mínimo, mas para isso, deve ter uma espessura adequada aos volumes de tráfego. Para determinação da espessura desta camada, levamos em conta o número de solicitações do eixo padrão “N” e o CBR do subleito. Segundo CARVALHO (1998), quando $N \geq 0,5 \times 10^6$, o material de sub-base deve apresentar um CBR mínimo de 30%.

Para definir a espessura da camada de sub-base, relaciona-se o CBR do subleito com o número “N”, através de um ábaco (Figura 9). A partir da leitura direta do referido ábaco, obteve-se o resultado de 15 cm de espessura mínima para a sub-base.

A camada de base deve ser de alta resistência mecânica, segundo CARVALHO (1998) o solo-cimento e o concreto rolado atendem bem esse requisito por apresentarem valores de resistência significativos. Essas camadas reduzem as pressões verticais provenientes do tráfego, transmitidas às camadas inferiores.

Quanto à espessura da camada de base, de acordo com o estudo técnico da CARVALHO (1998) essa dimensão é em função do número de solicitações do eixo padrão. Sua necessidade é verificada com o número “N” sendo maior que $1,5 \times 10^6$. Se o valor de “N” estiver entre $1,5 \times 10^6$ e 10^7 , recomenda-se uma camada mínima de 10 cm. Desta forma, a espessura necessária para a base neste estudo de caso é de 10 cm.

A solução final com os materiais e espessuras definidas em projeto encontram-se na Figura 29.

Figura 29 – Estrutura final, Procedimento A (PMSP)

Pedra Irregular	15 cm
Camada de Assentamento	5 cm
Base (Concreto-Cimento)	10 cm
Sub-Base (CBR=30%)	15 cm
Subleito (CBR = 8%)	

Fonte: Autor (2018)

4.3.5 Procedimento B (PMSP)

O dimensionamento por este método se dá em função do número de solicitações do eixo simples padrão "N", bem como do valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito, pode-se determinar, através da Figura 11, a espessura de material puramente granular, correspondente à camada de base assentada sobre o subleito.

A solução final com os materiais e espessuras definidas em projeto encontram-se na Figura 30.

Figura 30 – Estrutura final do pavimento, procedimento B (PMSP)

Pedra Irregular	15 cm
Camada de Assentamento	5 cm
Base (Brita Graduada)	17 cm
Subleito (CBR = 8%)	

Fonte: Autor (2018)

4.3.6 Dimensionamento por Peltier

Neste método, por meio da equação de Peltier foi determinada a espessura total da estrutura do pavimento, através de uma equação que relaciona a carga por roda (em toneladas) e o Índice de Suporte Califórnia, com a espessura final do pavimento.

Adotando a carga por roda “P” de 8 toneladas, abrangendo praticamente todas as possibilidades de tráfego, e o Índice de Suporte Califórnia do subleito de 8%. Através Equação 5 obteve-se a espessura final do pavimento de 40 cm.

$$e_p = \frac{(100 + 150\sqrt{P})}{I_s + 5} = 40cm$$

Adotando os valores de altura da pedra irregular de 15 cm e da camada de assentamento, conforme recomendação de Mineropar (1983), de 5 cm, obteve-se o valor de 20 cm como fixo. O aumento da espessura do pavimento não foi realizado mediante o aumento da espessura dessas camadas, pois além do custo elevado, seriam gerados problemas de instabilidade, além de dificuldades na conciliação da geometria (cotas) das guias e sarjetas da via. Esta situação se resolve com a execução de uma sub-base ou reforço do subleito, na espessura exigida pelo dimensionamento.

A espessura da camada imediatamente inferior a camada de assentamento, neste caso, foi de 20 cm, e o CBR mínimo exigido desse material foi o estabelecido pela equação de Peltier (Equação 5). Definidas as espessuras da camada de assentamento e do revestimento poliédrico,

utilizou-se essa equação para calcular o índice de suporte necessário ao subleito. Observou-se que o valor do CBR calculado é elevado.

$$I_s = \frac{100 + (150 * \sqrt{8})}{15 + 5} - 5 = 21\%$$

A solução final com os materiais e espessuras definidas em projeto, por este método, está apresentada na

Figura 31.

Figura 31 – Estrutura final do pavimento pelo método de Peltier

Pedra Irregular	15 cm
Camada de Assentamento	5 cm
Sub-Base (CBR = 21 %)	20 cm
Subleito (CBR = 8%)	

Fonte: Autor (2018)

Deve-se ressaltar que o dimensionamento pelo método de Peltier, não considera o tráfego da via, sendo o uso mais recomendado para vias com baixo volume de tráfego. Desta forma, este dimensionamento não será considerado a fins de orçamentação neste trabalho, uma vez que a via estudada, conta com um considerável volume de tráfego, tornado o dimensionamento inviável tecnicamente.

Ainda assim, este dimensionamento pode ser utilizado para vias adjacentes a rodovia estudada, estradas estas que fazem a ligação de propriedades rurais a rodovia em questão e contam com um tráfego moderado.

4.4 ORÇAMENTAÇÃO

Para a orçamentação dos processos construtivos, neste trabalho, foi considerado que a via terá em sua dimensão final 6 metros de largura por 5.600 metros de comprimento, perfazendo uma área total de 33.600 m².

Para a realização dos orçamentos foram considerados os preços e composições da tabela SICRO – Sistema de Custos Rodoviários do ano de 2016, da SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do ano de 2018, além do Relatório de Composição de Serviço do Departamento de Estrada e Rodagem do Paraná do ano de 2018.

4.4.1 Quantidades

As estimativas de quantidades são necessárias para a elaboração do orçamento. As estimativas foram feitas a partir dos dimensionamentos propostos, considerando-se que a via já se encontra geometricamente executada.

Para o rejuntamento do pavimento intertravado, utilizou-se neste trabalho para fins de orçamentação o pó de pedra, por este material ter sido utilizado como material de rejuntamento nas últimas obras realizadas no município e também ser recomendada pela Mineropar (1983), que especifica que este material deve apresentar uma granulometria semelhante à camada de assentamento. Considerou-se ainda que é necessário uma espessura de 2 cm deste material para o preenchimento das juntas.

O cálculo do custo do transporte é feito com base no volume do material e na distância a que deve ser levado o material. O volume de material necessário para cada um dos dimensionamentos está discriminado nas Tabelas 10 e 11. As Tabelas 10 e 11 mostram também as espessuras projetadas de cada camada.

Tabela 10 - Volume dos materiais das camadas do pavimento – Procedimento A

Descrição	Espessura Projetada (m)	Área (m²)	Total (m³)
Base de solo cimento 6%	0,10	33600	3360
Base de solo cimento 4%	0,15	33600	5040
Colchão de areia	0,05	33600	1680
Pedra Poliédrica	0,15	33600	5040
Pó de pedra	0,02	33600	672
Cordão Lateral	0,30	1680	504

Fonte: Autor (2018)

Tabela 11 – Volume dos materiais das camadas do pavimento – Procedimento B

Descrição	Espessura Projetada (m)	Área (m²)	Total (m³)
Brita graduada simples	0,17	33600	5712
Colchão de areia	0,05	33600	1680
Pedra Poliédrica	0,15	33600	5040
Pó de pedra	0,02	33600	672
Cordão Lateral	0,30	1680	504

Fonte: Autor (2018)

Considerou-se para fins de projeto e orçamentação o fornecimento da pedra irregular, cordão lateral, pó de pedra e dos materiais necessários para a construção da base e sub-base por empresas localizadas a uma distância média de 15 km da obra.

O volume total vezes a distância para o dimensionamento pelo “Procedimento A” foi de 236.880 m³.km, e para o “Procedimento B” foi de 204.120 m³.km.

4.4.2 Custos

Para a elaboração das planilhas de orçamentos, os custos dos serviços e dos insumos foram pesquisados nas tabelas do SINAPI e DER/PR, não sendo aplicado o BDI (Benefício Direto e Indireto), dado necessário para o orçamento do pavimento.

Calculou-se a quantidade de cada serviço, equipamento, material e mão-de-obra. No aluguel dos equipamentos considerou-se a Carga Horária Produtiva (CHP) e Carga Horária Improdutiva (CHI) de cada equipamento e seus valores. A montagem das tabelas do orçamento foi elaborada pelo autor, especificando cada elemento e, a seguir, os itens que contemplam o mesmo.

Carvalho (1998) especifica que para o dimensionamento pelo “Procedimento A” as camadas estruturais devem ser compostas por bases cimentícias, solo-cimento ou concreto rolado. A escolha desses materiais se deve a suas altas capacidade de suporte e seus altos valores de CBR.

A implantação das camadas do pavimento será realizada com uma nova sub-base de solo cimento 4% com mistura em usina e compactação de 100% com Proctor normal. A camada de base será de solo cimento 6% com mistura em usina e compactação de 100% Proctor normal.

De acordo com o estudo técnico da ABCP (2010), para o pavimento dimensionado pelo “Procedimento B” as camadas estruturais devem ser compostas por bases granulares. A

camada de base será de brita graduada simples, compactada com 100% da energia Proctor normal.

O custo da construção do pavimento pode ser analisado nas Tabelas 12 e 13 que mostram cada item, suas unidades, quantidades, preços unitários e preço total.

A Tabela 10 apresenta o orçamento referente ao pavimento dimensionado pelo “Procedimento A”, e a Tabela 11 apresenta os valores referente ao dimensionamento pelo “Procedimento B”.

Tabela 10 – Orçamento “Procedimento A”

ITEM	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ÍNDICE	QUANT.	UNITÁRIO
1	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO	m²	-	33600	R\$ 2,85
1.1	Escarificação , regularização compac. subleito - com rolo pé de carneiro	m²	1	33600	R\$ 2,85
2	BASE DE SOLO CIMENTO 6% COM MISTURA EM USINA, COMPACTAÇÃO 100% PROCTOR NORMAL (H=10 cm)	m³	-	3360	R\$ 57,15
2.1	Cimento portland composto cp ii-32	kg	105	352800	R\$ 0,45
2.2	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chp diurno.	CHP	0,013314	45	R\$ 94,60
2.3	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chp diurno.	CHP	0,0041270	14	R\$ 159,70
2.4	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chi diurno	CHI	0,0091870	31	R\$ 60,97
2.5	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chp diurno.	CHP	0,0085210	29	R\$ 176,81
2.6	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chi diurno.	CHI	0,0047930	16	R\$ 54,55
2.7	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chp diurno.	CHP	0,0045270	15	R\$ 129,72
2.8	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chi diurno.	CHI	0,0087870	30	R\$ 49,82
2.9	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chi diurno.	CHI	0,0033280	11	R\$ 4,44
2.10	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chp diurno.	CHP	0,0099850	34	R\$ 102,98
2.11	Servente com encargos complementares	H	0,0532550	179	R\$ 18,51
2.12	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chp diurno.	CHP	0,0099850	34	R\$ 213,96
2.13	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chi diurno.	CHI	0,0033280	11	R\$ 138,92
3	BASE DE SOLO CIMENTO 4% MISTURA EM USINA, COMPACTAÇÃO 100% PROCTOR NORMAL, EXCLUSIVE ESCAVACAO, CARGA E TRANSPORTE DO SOLO (H=15 cm)	m³	-	5040	R\$ 41,85
3.1	Cimento portland composto cp ii-32	kg	71	357840	R\$ 0,45
3.2	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chp diurno.	CHP	0,0133140	67	R\$ 94,60
3.3	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chp diurno.	CHP	0,0041270	21	R\$ 159,70
3.4	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chi diurno.	CHI	0,0091870	46	R\$ 60,97
3.5	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chp diurno.	CHP	0,0085210	43	R\$ 176,81
3.6	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chi diurno.	CHI	0,0047930	24	R\$ 54,55

3.7	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chp diurno.	CHP	0,0045270	23	R\$ 129,72
3.8	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chi diurno.	CHI	0,0087870	44	R\$ 49,82
3.9	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chi diurno.	CHI	0,0033280	17	R\$ 4,44
3.10	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chp diurno.	CHP	0,0099850	50	R\$ 102,98
3.11	Servente com encargos complementares	H	0,0532550	268	R\$ 18,51
3.12	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chp diurno.	CHP	0,0099850	50	R\$ 213,96
3.13	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chi diurno.	CHI	0,0033280	17	R\$ 138,92
3	COLCHÃO DE AREIA PARA PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPIEDO OU BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS (H=5CM)	m³	-	7	R\$ 2.027,50
3.1	Servente com encargos complementares	H	0,40	72	R\$ 18,51
3.2	Areia Media - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m³	1,15	206	R\$ 62,00
4	PAVIMENTO POLIÉDRICO	m²	-	33600	R\$ 21,56
4.1	Extração , carga , transp. Assent. Cordão lat. Pedra p/ pedra para pavimento poliédrico	m	2	11200	R\$ 8,53
4.2	Extração,carga , transporte, preparo e assentamento do poliedro	m²	0,96	32256	R\$ 18,54
4.3	Compactação de pavimento poliedrico	m²	1	33600	R\$ 0,41
4.4	Contenção lateral c/ solo local p/pav. Poliedrica	m²	2	11200	R\$ 1,51
5	EMBASAMENTO DE MATERIAL GRANULAR - PO DE PEDRA (H=2CM)	m³	-	672	R\$ 67,97
5.1	Pó de pedra (posto pedreira / fornecedor, sem frete)	m³	1,15	773	R\$ 38,18
5.2	Servente com encargos complementares	H	1,3	874	R\$ 18,51
6	TRANSPORTES	m³ x km	-	234360	R\$ 1,09
6.1	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHP	0,00625	1465	R\$ 164,54
6.2	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHI	0,00156	366	R\$ 36,46

Fonte: Autor (2018)

Analisando os dados da Tabela 10, podemos concluir que o custo total para a construção do pavimento utilizando o dimensionamento proposto pelo “Procedimento A”, que utiliza de base e sub-base cimentada, fica em R\$1.537.050,90 sem considerar o BDI.

Tabela 11 – Orçamento “Procedimento B”

ITEM	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	QUANT.	UNITÁRIO	TOTAL
1	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO	m²	33600	R\$ 2,85	R\$ 95.760,00
1.1	Escarificação , regularização compac. subleito - com rolo pé de carneiro	m²	33600	R\$ 2,85	R\$ 95.760,00
2	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM BRITA GRADUADA SIMPLES - EXCLUSIVE CARGA E TRANSP. (H=17CM)	m³	5712	R\$ 74,67	R\$ 426.516,54
2.1	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chp diurno.	CHP	44	R\$ 94,60	R\$ 4.160,74
2.2	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chi diurno.	CHI	48	R\$ 39,37	R\$ 1.889,00

2.3	Caminhão pipa 10.000 l trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 cv, inclusive tanque de aço para transporte de água - chp diurno	CHP	33	R\$ 160,72	R\$ 5.324,59
2.4	Caminhão pipa 10.000 l trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 cv, inclusive tanque de aço para transporte de água - chi diurno.	CHI	59	R\$ 35,69	R\$ 2.099,77
2.5	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chp diurno.	CHP	44	R\$ 159,70	R\$ 7.023,99
2.6	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chi diurno.	CHI	48	R\$ 60,97	R\$ 2.925,39
2.7	Servente com encargos complementares	H	322	R\$ 18,51	R\$ 5.952,55
2.8	Usinagem de brita graduada simples, utilizando brita comercial com usina 300 t/h.	m³	5712	R\$ 68,38	R\$ 390.586,56
2.9	Rolo compactador de pneus, estatico, pressao variavel, potencia 110 hp, peso sem/com lastro 10,8/27 t, largura de rolagem 2,30 m - chp diurno	CHP	22	R\$ 132,79	R\$ 2.958,14
2.10	Rolo compactador de pneus, estatico, pressao variavel, potencia 110 hp, peso sem/com lastro 10,8/27 t, largura de rolagem 2,30 m - chi diurno	CHI	70	R\$ 51,60	R\$ 3.595,82
3	COLCHÃO DE AREIA PARA PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO OU BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS (H=5CM)	m³	1680	R\$ 78,70	R\$ 132.222,72
3.1	Servente com encargos complementares	H	672	R\$ 18,51	R\$ 12.438,72
3.2	Areia Media - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m³	1932	R\$ 62,00	R\$ 119.784,00
4	PAVIMENTO POLIÉDRICO	m²	33600	R\$ 21,56	R\$ 724.250,24
4.1	Extração, carga, transp. Assent. Cordão lat. Pedra p/ pedra para pavimento poliédrico	m	11200	R\$ 8,53	R\$ 95.536,00
4.2	Extração, carga, transporte, preparo e assentamento do poliedro	m²	32256	R\$ 18,54	R\$ 598.026,24
4.3	Compactação de pavimento poliedrico	m²	33600	R\$ 0,41	R\$ 13.776,00
4.5	Contenção lateral c/ solo local p/pav. Poliedrica	m²	11200	R\$ 1,51	R\$ 16.912,00
5	ENBASAMENTO DE MATERIAL GRANULAR - PO DE PEDRA (H=2CM)	m³	672	R\$ 67,97	R\$ 45.675,84
5.1	Pó de pedra (posto pedreira / fornecedor, sem frete)	m³	773	R\$ 38,18	R\$ 29.505,50
5.2	Servente com encargos complementares	H	874	R\$ 18,51	R\$ 16.170,34
6	TRANSPORTES	m³ x Km	204120	R\$ 1,30	R\$ 265.279,15
6.1	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHP	1528	R\$ 164,54	R\$ 251.375,99
6.2	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHI	381	R\$ 36,46	R\$ 13.903,16

Fonte: Autor (2018)

Para o dimensionamento pelo “Procedimento B”, os dados da Tabela 11, mostram que o custo total para a construção do pavimento utilizando este método, que utiliza de base granular fica com um custo total de R\$1.689.704,49 sem considerar o BDI.

Desta forma, a diferença entre a utilização de camadas cimentadas se mostrou realmente mais viável economicamente, do que a utilização de base granular, assim como orientado pela ABCP (2010), que recomenda a utilização do “Procedimento A”, para o dimensionamento de pavimentos com “N” característico superior a $1,5 \times 10^6$. Apresentando uma economia de 9% em relação ao outro procedimento.

Comparou-se ainda o custo de construção por metro quadrado destes dois métodos com o custo de construção pelo método convencional utilizado pela prefeitura do município, onde não se utiliza as camadas de base e sub-base, e no lugar do colchão de areia, utiliza o colchão de argila. Estes dados podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12 – Comparação de custos entre os modelos propostos		
Método	Custo (R\$/m ²)	Diferença (%)
Procedimento A	45,75	149,39
Procedimento B	50,29	163,12
Prefeitura	30,83	100

Fonte: Autor (2018)

Considerando ainda o pavimento poliédrico como um revestimento puro e simples, sem função estrutural, com uma espessura de 20 cm, contando a pedra irregular e o colchão de areia, e comparando-o com outro tipo de revestimento, como o concreto asfáltico (CA), em uma espessura de 3 cm, este ainda é o tipo de revestimento mais barato, mesmo sem atenuarmos para o benefício da durabilidade centenária e da sua manutenção fácil e barata, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação entre revestimento poliédrico e em CA	
Tipo de Revestimento	Custo (R\$/m ²)
Revestimento em CA	32,88
Revestimento em alvenaria poliédrica	29,18

Fonte: Autor (2018)

Os dados utilizados para a elaboração de custos unitários do concreto asfáltico, foram obtidos do *site* da Prefeitura, em editais de licitações do ano de 2018 e encontram-se no Anexo A.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo propor um dimensionamento correto de um pavimento em alvenaria poliédrica para uma estrada, localizada no Município de Marechal Cândido Rondon (PR), através da coleta de dados, características dos materiais constituintes da estrada e dados operacionais.

O estudo aplicado permitiu a demonstração de como deve ser feito o dimensionamento do pavimento poliédrico intertravado, para que atenda as características de tráfego e de ocorrência de solo, com boa durabilidade e conforto aos usuários, minimizando os gastos com readequação e corroborando para um projeto bem dimensionado.

Através da análise de solo da região, constatou-se que este pode ser classificado como um silte argiloso de alta compressibilidade, com comportamento previsto para pavimentação de sofrível a ruim, reforçando a necessidade de emprego de camadas de base e/ou sub-base, na construção do pavimento.

Com a determinação do volume de tráfego, averiguou-se que o volume médio diário é elevado, reforçando ainda mais o emprego de técnicas adequadas de projeto. Além do mais, por intermédio deste é que se determinou número equivalente de operações, para com isso, dimensionar a espessura do revestimento primário.

Ressalta-se ainda que neste tipo de pavimento, o seu revestimento apresenta uma durabilidade ilimitada, sendo que na grande maioria dos casos de patologia, estas se devem a não construção da camada de base para o pavimento, na espessura insuficiente da mesma, ou até mesmo a falta de controle tecnológico durante a execução.

A adoção do dimensionamento correto se justifica principalmente para as vias com considerável volume de tráfego, como no caso estudado neste trabalho, uma vez que o emprego da solução convencional, que apresenta resultados satisfatórios para as vias com tráfego moderado, não apresenta o mesmo desempenho nas vias que comportam um tráfego mais intenso. Como no caso estudado, em que o pavimento apresentou diversas patologias em suas idades iniciais.

Constata-se ainda a necessidade da correção do greide da estrada em estudo (Figura 14), isto possibilitaria um melhor escoamento da água e drenagem do pavimento.

Assim como a construção de bueiros de greide e de caixas de retenção ao longo da estrada, em pontos estratégicos, visando o correto funcionamento dos mesmos.

A pista ainda deve possuir um abaulamento transversal igual a 4%, para ajudar na drenagem da plataforma, direcionando as águas superficiais para os dispositivos de drenagem.

Através do dimensionamento, pode-se observar que a construção do pavimento conforme resultados obtidos pelo método A, considerado o mais viável economicamente, e o realmente construído pela prefeitura. Este apresenta custos de construção de até 50% maior. Porém deve-se atentar para a durabilidade maior que teria este pavimento frente as cargas impostas pelo tráfego e sua alta degradação pelo método adotado pela prefeitura, uma vez que o pavimento apresentou sérios problemas estruturais ao longo do tempo.

Por fim, apresentam-se como sugestões para trabalhos futuros, as seguintes proposições:

- A avaliação de tolerância de material fino na faixa granulométrica da camada de assentamento, bem como sua natureza mineralógica e correlacioná-la com a incidência de patologias no pavimento intertravado ao longo de seu horizonte de projeto.
- Aprofundamento no estudo do desenvolvimento científico da metodologia de dimensionamento de pavimentos intertravados, visando torná-lo de cunho racional ao invés de empírico como verificou-se nas metodologias disponíveis atualmente no Brasil, apresentadas neste trabalho.
- Estudo comparativo do emprego da solução blocos de concreto e de pedras irregulares, a fim de concluir se o tamanho irregular das pedras podem interferir na resistência final do pavimento.

REFERÊNCIAS

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Design Guide of Pavement Structures. 1993.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Estudo Técnico nº27: Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto. 4ª edição – São Paulo, SP, Brasil, 1999.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público. São Paulo, Brasil 2010.

ABNT. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. NBR 6457. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.

ABNT. Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. NBR 6508. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

ABNT. Solo – Análise granulométrica. NBR 7181. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984b.

ABNT. Solo – Determinação do limite de liquidez. NBR 6459. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

ABNT. Solo – Determinação do limite de plasticidade. NBR 7180. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984

ABNT. Solo – Ensaio de compactação. NBR 7182. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1990). Annual book of ASTM standards. Section 4: Construction, v. 04.08: Soil and rock; dimension stone; geosynthetics. Philadelphia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Geologia de Engenharia. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1998.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P. e SOARES, J. B. “Pavimentação Asfáltica”. Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro, 2007.

BURAK, Robert J. Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement. 2002. Interlocking Concrete Pavement Institute. Montreal, Canadá, 2002.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1996.

CAPUTO, H.P. mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A, 1988.

CARVALHO, Marcos D. Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto (ET-27). 4.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

CNT. Pesquisa Aquaviária – Relatório Gerencial. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2018a. Disponível em: < www.cnt.gov.br >. Acesso em: 12 Out. 2018.

CODISC (Companhia de Distritos Industriais de Santa Catarina). Utilização de matérias-primas locais para pavimentação urbana, Florianópolis, 1986.

COOK, I. D, KNAPTON, J. A Design Method for Lightly Trafficked and Pedestrian Pavements. Fifth Internacional Concrete Block Paving Conference, Tel-Aviv, Israel, 1996.

CRUZ, Luiz O. M.. Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento. Rio de Janeiro, 2003.

CBR – Índice Suporte Califórnia

DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Tradução de All Tasks. 6. ed. americana. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. Especificações Técnicas: Pavimento com Peças Pré Moldadas de Concreto. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

GODINHO, Dalter P.. Pavimento Intertravado: Uma Flexão sob a Ótica da Durabilidade e Sustentabilidade. Belo Horizonte, 2009.

KNAPTON, J., COOK, IAN D, Design Methods for Clay and Concrete Block Paving, Vol. 2, pp. 27-50, Auckland, February 1992.

LIMA, A.T. Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Programa de Mestrado em Engenharia de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MAACK, R. Geografia física do Paraná. Curitiba: Pap. Max. Roesner, 1981.

PELTIER, R. Manuel Du Laboratoire Routier. 3ª Edição, Dunot, Paris, 1996.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3.ed São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas, São Paulo, Oficina de Textos, 2000.

Prefeitura Municipal de São Paulo: IP-06/2004 – Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto. São Paulo, 2004.

PREUSSLER, L. Contribuição ao estudo da deformabilidade de camadas do Pavimento. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2007.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação. Vol. 1. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação. vol. 2. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Relatório de Insumos e Composição: Setembro/2018. Curitiba, 2018. 3255 p. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_655>. Acessado em 25 out. 2018.

SHACKEL, B. (1990) “Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavement”. 1st Edition. Elsevier, New York and London.

SÓRIA, M. H. A. Reflexões lógicas sobre classificação de solos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos - SP, 1985.

MINEROPAR, Avaliação do potencial mineral e consultoria técnica do município de Marechal Candido Rondon, Curitiba, 2001.

MINEROPAR, Paralelepípidos e alvenaria poliédrica manual de utilização, Curitiba, 1983.

ANEXOS

Anexo A: Execução de pavimentação asfáltica com C.B.U.Q. em trechos das Ruas Deonato Schwab e Concórdia, no Loteamento Lumara, com área de 1.489,32 m² (Fonte: Prefeitura de Marechal Cândido Rondon, 2018).

1	Cód. Sinape	Pavimentação	Unid.	Quantidade	Custo Unit.	Custo Total
1.1	74209/1	PLACA DE OBRA EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO	M2	2,00	409,63	819,26
1.2	72961	REGULARIZACAO E COMPACTACAO DE SUBLEITO ATE 20 CM DE ESPESSURA	m2	1.489,32	1,53	2.278,66
1.3	96396	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM BRITA GRADUADA SIMPLES - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF_09/2017 (e=25cm)	m3	372,33	87,12	32.437,39
1.4	83356	TRANSPORTE COMERCIAL DE BRITA DMT=10km	M3XKM	3.723,30	0,90	3.350,97
1.5	96401	EXECUÇÃO DE IMPRIMAÇÃO COM ASFALTO DILUÍDO CM-30. AF_09/2017	m2	1.489,32	5,21	7.759,36
1.6	96402	EXECUÇÃO DE IMPRIMAÇÃO LIGANTE COM EMULSÃO ASFÁLTICA RR-2C. AF_09/2017	m2	1.489,32	3,00	4.467,96
1.7	95990	CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTO COM APLICAÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ), CAMADA DE ROLAMENTO, COM ESPESSURA DE 3,0 CM - EXCLUSIVE TRANSPORTE. AF_03/2017	M3	44,68	822,40	36.744,83
1.8	94267	GUIA (MEIO-FIO) E SARJETA CONJUGADOS DE CONCRETO, MOLDADA "IN LOCO" EM TRECHO RETO COM EXTRUSORA, GUIA 13 CM BASE X 22 CM ALTURA, SARJETA 30 CM BASE X 8,5 CM ALTURA. AF_06/2016	m	334,12	41,42	13.839,25

APENDICE

Apendice A: Resultado do levantamento do volume de tráfego.

VOLUME DE TRÁFEGO				
Estrada:	Rodovia Municipal Germino Bresolin			
Operador:	Lucas Adrian Hachmann	Data:	22/07/2018	
HORA	CARRO	CAMINHÕES	ÔNIBUS	TRATOR
8:00 às 12:00	85	65	4	3
13:00 às 17:00	81	61	2	2
TOTAL	166	126	6	5

VOLUME DE TRÁFEGO				
Estrada:	Rodovia Municipal Germino Bresolin			
Operador:	Lucas Adrian Hachmann	Data:	23/07/2018	
HORA	CARRO	CAMINHÕES	ÔNIBUS	TRATOR
8:00 às 12:00	85	58	3	2
13:00 às 17:00	75	63	2	2
TOTAL	160	121	5	4

VOLUME DE TRÁFEGO				
Estrada:	Rodovia Municipal Germino Bresolin			
Operador:	Lucas Adrian Hachmann	Data:	24/07/2018	
HORA	CARRO	CAMINHÕES	ÔNIBUS	TRATOR
8:00 às 12:00	84	67	2	2
13:00 às 17:00	77	58	3	4
TOTAL	161	125	5	6

Apendice B: Orçamento analítico Procedimento A

(continua)

ITEM	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ÍNDICE	QUANT.	UNITÁRIO	TOTAL	CÓDIGO	FONTE
1	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO	m²	-	33600	R\$ 2,85	R\$ 95.760,00	-	-
1.1	Escarificação , regularização compac. subleito - com rolo pé de carneiro	m²	1	33600	R\$ 2,85	R\$ 95.760,00	50000	DNER
2	BASE DE SOLO CIMENTO 6% COM MISTURA EM USINA, COMPACTAÇÃO 100% PROCTOR NORMAL (H=10 cm)	m³	-	3360	R\$ 57,15	R\$ 192.021,59	Comp. 72922	SINAPE
2.1	Cimento portland composto cp ii-32	KG	105	352800	R\$ 0,45	R\$ 158.760,00	1379	SINAPE
2.2	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chp diurno.	CHP	0,013314	45	R\$ 94,60	R\$ 4.231,93	5684	SINAPE
2.3	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chp diurno.	CHP	0,0041270	14	R\$ 159,70	R\$ 2.214,52	5932	SINAPE
2.4	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chi diurno.	CHI	0,0091870	31	R\$ 60,97	R\$ 1.882,04	5934	SINAPE
2.5	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chp diurno.	CHP	0,0085210	29	R\$ 176,81	R\$ 5.062,17	5944	SINAPE
2.6	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chi diurno.	CHI	0,0047930	16	R\$ 54,55	R\$ 878,50	5946	SINAPE
2.7	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chp diurno.	CHP	0,0045270	15	R\$ 129,72	R\$ 1.973,13	6879	SINAPE
2.8	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chi diurno.	CHI	0,0087870	30	R\$ 49,82	R\$ 1.470,90	6880	SINAPE
2.9	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chi diurno.	CHI	0,0033280	11	R\$ 4,44	R\$ 49,65	73395	SINAPE
2.10	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chp diurno.	CHP	0,0099850	34	R\$ 102,98	R\$ 3.454,94	73417	SINAPE
2.11	Servente com encargos complementares	H	0,0532550	179	R\$ 18,51	R\$ 3.312,12	88316	SINAPE
2.12	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chp diurno.	CHP	0,0099850	34	R\$ 213,96	R\$ 7.178,27	95121	SINAPE
2.13	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chi diurno.	CHI	0,0033280	11	R\$ 138,92	R\$ 1.553,41	95122	SINAPE
3	BASE DE SOLO CIMENTO 4% MISTURA EM USINA, COMPACTAÇÃO 100% PROCTOR NORMAL, EXCLUSIVE ESCAVACAO, CARGA E TRANSPORTE DO SOLO (H=15 cm)	m³	-	5040	R\$ 41,85	R\$ 210.920,38	72919	SINAPE
3.1	Cimento portland composto cp ii-32	Kg	71	357840	R\$ 0,45	R\$ 161.028,00	1379	SINAPE
3.2	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chp diurno.	CHP	0,0133140	67	R\$ 94,60	R\$ 6.347,90	5684	SINAPE
3.3	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chp diurno.	CHP	0,0041270	21	R\$ 159,70	R\$ 3.321,77	5932	SINAPE
3.4	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chi diurno.	CHI	0,0091870	46	R\$ 60,97	R\$ 2.823,06	5934	SINAPE
3.5	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chp diurno.	CHP	0,0085210	43	R\$ 176,81	R\$ 7.593,25	5944	SINAPE
3.6	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg - chi diurno.	CHI	0,0047930	24	R\$ 54,55	R\$ 1.317,75	5946	SINAPE
3.7	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chp diurno.	CHP	0,0045270	23	R\$ 129,72	R\$ 2.959,70	6879	SINAPE

3.8	Rolo compactador de pneus estático, pressão variável, potência 111 hp, peso sem/com lastro 9,5 / 26 t, largura de trabalho 1,90 m - chi diurno.	CHI	0,0087870	44	R\$ 49,82	R\$ 2.206,35	6880	SINAPE
3.9	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chi diurno.	CHI	0,0033280	17	R\$ 4,44	R\$ 74,47	73395	SINAPE
3.10	Grupo gerador estacionário, motor diesel potência 170 kva - chp diurno.	CHP	0,0099850	50	R\$ 102,98	R\$ 5.182,41	73417	SINAPE
3.11	Servente com encargos complementares	H	0,0532550	268	R\$ 18,51	R\$ 4.968,18	88316	SINAPE
3.12	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chp diurno.	CHP	0,0099850	50	R\$ 213,96	R\$ 10.767,41	95121	SINAPE
3.13	Usina misturadora de solos, capacidade de 200 a 500 ton/h, potencia 75kw - chi diurno.	CHI	0,0033280	17	R\$ 138,92	R\$ 2.330,12	95122	SINAPE
3	COLCHÃO DE AREIA PARA PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO OU BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVIDOS (H=5CM)	m³	-	1680	R\$ 8,38	R\$ 14.083,04	72498	SINAPE
3.1	Servente com encargos complementares	H	0,4	71,57472	R\$ 18,51	R\$ 1.324,85	88316	SINAPE
3.2	Areia Media - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m³	1,15	205,77732	R\$ 62,00	R\$ 12.758,19	370	SINAPE
4	PAVIMENTO POLIÉDRICO	m²	-	33600	R\$ 21,37	R\$ 718.020,80	-	-
4.2	Extração , carga , transp. Assent. Cordão lat. Pedra p/ pedra para pavimento poliédrico	m	2	11200	R\$ 8,53	R\$ 95.536,00	53520	DNER
4.3	Extração,carga , transporte, preparo e assentamento do poliedro	m²	0,95	31920	R\$ 18,54	R\$ 591.796,80	52145	DNER
4.5	Compactação de pavimento poliedrico	m²	1	33600	R\$ 0,41	R\$ 13.776,00	53270	DNER
4.7	Contenção lateral c/ solo local p/pav. Poliedrica	m²	2	11200	R\$ 1,51	R\$ 16.912,00	57510	DNER
5	EMBASAMENTO DE MATERIAL GRANULAR - PO DE PEDRA (H=2CM)	m³	-	672	R\$ 67,97	R\$ 45.675,84	73817/1	SINAPE
5.1	Pó de pedra (posto pedreira / fornecedor, sem frete)	m³	1,15	773	R\$ 38,18	R\$ 29.505,50	4741	SINAPE
5.2	Servente com encargos complementares	H	1,3	874	R\$ 18,51	R\$ 16.170,34	88316	SINAPE
6	TRANSPORTES	M3xKM	-	234360	R\$ 1,09	R\$ 254.339,80	95875	SINAPE
6.1	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHP	0,00625	1465	R\$ 164,54	R\$ 241.009,97	91386	SINAPE
6.2	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHI	0,00156	366	R\$ 36,46	R\$ 13.329,83	91387	SINAPE

Apêndice C: Orçamento analítico Procedimento B

(continua)

ITEM	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ÍNDICE	QUANT.	UNITÁRIO	TOTAL	CÓDIGO	FONTE
1	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO	M2	-	33600	R\$ 2,85	R\$ 95.760,00	-	-
1.1	Escarificação , regularização compac. subleito - com rolo pé de carneiro	m²	1	33600	R\$ 2,85	R\$ 95.760,00	50000	DNER
2	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM BRITA GRADUADA SIMPLES - EXCLUSIVE CARGA E TRANSP. (H=17CM)	m³	-	5712	R\$ 74,67	R\$ 426.516,54	96396	SINAPE
2.1	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chp diurno.	CHP	0,0077	44	R\$ 94,60	R\$ 4.160,74	5684	SINAPE
2.2	Rolo compactador vibratório de um cilindro aço liso, potência 80 hp, peso operacional máximo 8,1 t, impacto dinâmico 16,15 / 9,5 t, largura de trabalho 1,68 m - chi diurno.	CHI	0,0084	48	R\$ 39,37	R\$ 1.889,00	5685	SINAPE
2.3	Caminhão pipa 10.000 l trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 cv, inclusive tanque de aço para transporte de água - chp diurno	CHP	0,0058	33	R\$ 160,72	R\$ 5.324,59	5901	SINAPE
2.4	Caminhão pipa 10.000 l trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 cv, inclusive tanque de aço para transporte de água - chi diurno.	CHI	0,0103	59	R\$ 35,69	R\$ 2.099,77	5903	SINAPE
2.5	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chp diurno.	CHP	0,0077	44	R\$ 159,70	R\$ 7.023,99	5932	SINAPE
2.6	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m - chi diurno.	CHI	0,0084	48	R\$ 60,97	R\$ 2.925,39	5934	SINAPE
2.7	Servente com encargos complementares	H	0,0563	322	R\$ 18,51	R\$ 5.952,55	88316	SINAPE
2.8	Usinagem de brita graduada simples, utilizando brita comercial com usina 300 t/h.	M3	1	5712	R\$ 68,38	R\$ 390.586,56	96393	SINAPE
2.9	Rolo compactador de pneus, estatico, pressao variavel, potencia 110 hp, peso sem/com lastro 10,8/27 t, largura de rolagem 2,30 m - chp diurno	CHP	0,0039	22	R\$ 132,79	R\$ 2.958,14	96463	SINAPE
2.10	Rolo compactador de pneus, estatico, pressao variavel, potencia 110 hp, peso sem/com lastro 10,8/27 t, largura de rolagem 2,30 m - chi diurno	CHI	0,01	70	R\$ 51,60	R\$ 3.595,82	96464	SINAPE
3	COLCHÃO DE AREIA PARA PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO OU BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS (H=5CM)	M3	-	1680	R\$ 78,70	R\$ 132.222,72	72498	SINAPE
3.1	Servente com encargos complementares	H	0,4	672	R\$ 18,51	R\$ 12.438,72	88316	SINAPE
3.2	Areia Media - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m³	1,15	1932	R\$ 62,00	R\$ 119.784,00	370	SINAPE
4	PAVIMENTO POLIÉDRICO	m²	-	33600	R\$ 21,37	R\$ 718.020,80	-	-
4.1	Extração, carga, transp. Assent. Cordão lat. Pedra p/ pedra para pavimento poliédrico	m	2	11200	R\$ 8,53	R\$ 95.536,00	53520	DNER
4.2	Extração, carga, transporte, preparo e assentamento do poliedro	m²	0,95	31920	R\$ 18,54	R\$ 591.796,80	52145	DNER

4.3	Compactação de pavimento poliedrico	m²	1	33600	R\$ 0,41	R\$ 13.776,00	53270	DNER
4.5	Contenção lateral c/ solo local p/pav. Poliedrica	m²	2	11200	R\$ 1,51	R\$ 16.912,00	57510	DNER
5	ENBASAMENTO DE MATERIAL GRANULAR - PO DE PEDRA (H=2CM)	m³	-	672	R\$ 67,97	R\$ 45.675,84	73817/1	SINAPE
5.1	Pó de pedra (posto pedreira / fornecedor, sem frete)	m²	1,15	773	R\$ 38,18	R\$ 29.505,50	4741	SINAPE
5.2	Servente com encargos complementares	H	1,3	874	R\$ 18,51	R\$ 16.170,34	88316	SINAPE
6	TRANSPORTES	m³.Km	-	204120	R\$ 1,30	R\$ 265.279,15	95875	SINAPE
6.1	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHP	0,00625	1528	R\$ 164,54	R\$ 251.375,99	91386	SINAPE
6.2	Transporte com caminhão basculante de 10 m3, em via urbana pavimentada, dmt até 30 km (unidade: m3xkm)	CHI	0,00156	381,3264	36,46	13903,16054	91387	SINAPE